

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Мелітополь – 2016

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САМ	самохідні технічні засоби;
АТ	технічні засоби, що агрегатують з тракторами;
АА	технічні засоби, що агрегатують з автомобілями;
Конс	технічні засоби з пристроєм внесення консервантів;
БКонс	технічні засоби без пристрою внесення консервантів;
Кос	косарки;
БПл	без пристрою для плющення;
БКонд	без пристрою для кондиціонування;
Пл	з пристроєм для плющення;
КосПН	косарки-підбирачі- навантажувачі;
КосПП	косарки-підбирачі-подрібнювачі;
КосП	косарки – подрібнювачі;
Вал	валкоутворювачі;
ГР	граблі;
ГРВ	граблі – ворушилки;
Вор	ворушилки;
КопУ	копицеутворювачі;
ПКоп	підбирач – копнувач;
Вол	волокуші;
НавРС	навантажувачі розсипного сіна;
КопВ	навантажувачі - копицевози;
СтМ	навантажувачі - стогомети;
ПСтУ	підбирачі - стогоутворювачі;
СтВ	стоговози;
ПСтУ	підбирачі - стогоутворювачі;
ППП	причепа – підбирачі – подрібнювачі;
ККомб	кормові комбайни;
Скомб	силосні комбайни;
ЗКомб	зернові комбайни;
ПресП	прес-підбирач;
Тюк	тюковий прес-підбирач;
Рул	рулонний прес – підбирач;
ОбШ	прес – підбирач з обмотчиком тюків та рулонів шпагатом;
ОбС	прес – підбирач з пристроєм для обмотки тюків та рулонів сіткою;
ОбП	прес – підбирач з пристроєм для обмотки тюків та рулонів плівкою;
ПоП	з камерою попереднього пресування;
БПоП	без камери попереднього пресування;
Подр	з подрібнюючим пристроєм;
БПодр	без подрібнюючого пристрою;
УВК	устаткування для внесення консерванту;

ЗавТР	завантажувач тюків та рулонів;
СЗТТР	самозавантажувальні транспортувальники тюків та рулонів;
ТЗ	транспортні засоби;
Схов	сховища, споруди та місця для зберігання кормів;
М	майданчики для зберігання кормів;
Скл	склади для зберігання кормів;
Баш	силосні та сінажні башти;
ТРЗ	транспортери – завантажувачі силосу та сінажу;
РМ	розподільники (кормової) маси;
Тран	силосні (сінажні) траншеї;
Бул	бульдозери;
ТТ	трамбувальні трактори;
ГПР	герметизація плівкою здійснюється вручну;
БУ	буртоукривачі;
ОбТР	обмотувальники тюків та рулонів;
ОбР	обмотувальники рядів тюків та рулонів;
ОбОд	обмотувальники одиничних тюків та рулонів;
ПТРР	пакувальники тюків та рулонів в рукав;
ПресПакР	прес-пакувальник кормів в рулони;
УАП	устаткування для активного вентилявання;
ПРС	повітророзподільна система;
В	вентилятор;
ПН	повітронагрівач;
Р_{мол}	продуктивність тварини, кг;
К_{СП}	коефіцієнт збереженості сирого протеїну при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;
СП	сумарний вміст сирого протеїну в раціоні (з урахуванням коефіцієнта перетравності тієї чи іншої складової раціону), г;
К_{сж}	коефіцієнт збереженості сирого жиру при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;
СЖ	сумарний вміст сирого жиру в раціоні, г;
К_{ск}	коефіцієнт збереженості сирогої клітковини при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;
СК	сумарний вміст сирогої клітковини в раціоні, г;
К_{сБЕР}	коефіцієнт збереженості сирих безазотистих екстрактивних речовин при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;
СБЕР	сумарний вміст сирих безазотистих екстрактивних речовин у раціоні, г;
ЧЕЛ_{рац}	чиста енергія лактації в раціоні, МДж;
ОЕ_{ПЖ}	обмінна енергія для підтримання життєдіяльності тварини у системі ЧЕЛ, МДж;

<i>ОЕ_Т</i>	обмінна енергія, що відкладається в матці (енергія тільності), МДж;
<i>ОЕ_{ПМ}</i>	обмінна енергія продукування молока, МДж;
<i>вСП_{рац}</i>	використаний протеїн раціону, г ;
<i>вСП_{пж}</i>	використаний протеїн необхідний для підтримання життєдіяльності тварини, г;
<i>вСП_{пм}</i>	використаний протеїн, необхідний для продукування 1кг молока, г/кг;
<i>КТЗ</i>	комплектів технологічних засобів;
<i>ПТЛ</i>	потоків технологічні лінії;
<i>ЩРС</i>	щільність рослинної сировини;

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІКО – ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРМОЗАГОТІВЛІ. ПРОБЛЕМИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
1.1 Сучасний стан молочного скотарства та його соціально – економічне значення для України	17
1.2 Технології заготівлі основних компонентів раціону	21
1.2.1 Технології заготівлі сіна	21
1.2.2 Технології заготівлі сінажу	27
1.2.3 Технології заготівлі силосу	31
1.3 Існуючі підходи до формування технічних систем забезпечення кормової бази та їх аналіз	34
1.4 Постановка проблеми та напрямків дослідження	60
1.5 Висновки по розділу	67
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОРМОЗАГОТІВЛІ НА МОЛОЧНИХ ФЕРМАХ	71
2.1 Структурна модель технічної системи кормозаготівлі для виробництва продукції молочного скотарства	71
2.1.1 Обґрунтування енергозберігаючих технологічних процесів кормозаготівлі	71
2.1.2 Енергетична оцінка існуючих раціонів для сільськогосподарських тварин	76
2.1.3 Енергетична оцінка та обґрунтування технологій заготівлі, зберігання та приготування рослинної сировини	85
2.1.4 Обґрунтування структури потокових технологічних ліній заготівлі консервованих кормів у полімерних сховищах	91
2.1.5 Обґрунтування технологічної схеми обладнання для заготівлі рослинної сировини у полімерних сховищах	97
2.2 Модель конверсії корму у продукцію молочного скотарства	100
2.3 Методика оцінки системи кормозаготівлі на основі збереження якості кормової сировини	115
2.4 Висновки по розділу	120

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ КОНСЕРВОВАНИХ КОРМІВ ЗА ЯКІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ	123
3.1 Теоретичні основи визначення фізико-механічних властивостей матеріалу	123
3.1.1 Визначення модуля пружності зсуву	123
3.1.2 Визначення модуля згину.....	128
3.2 Моделювання процесу ущільнення грубих стеблових кормів	130
3.2.1 Визначення параметрів процесу ущільнення кормової маси.....	130
3.2.2 Обґрунтування параметрів процесу ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі	137
3.2.3 Визначення основних параметрів гвинтового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі.....	176
3.2.4 Теоретичні дослідження процесу структурування часток рослинної сировини в просторі двогвинтового ущільнювача ..	180
3.2.5 Обґрунтування форми та визначення зміни тиску в дифузорі двогвинтового ущільнювача.....	191
3.2.6 Продуктивність двогвинтового ущільнювача з одnobічним обертанням гвинтів	196
3.3 Висновки по розділу	205
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАГОТІВЛІ КОНСЕРВОВАНИХ КОРМІВ	207
4.1 Програма та методика лабораторних і експериментально–виробничих досліджень	207
4.1.1 Програма досліджень	208
4.1.2 Методика виконання лабораторних досліджень.....	209
4.1.2.1 Методики визначення фізико–механічних властивостей рослинної сировини	209
4.1.2.2 Методики визначення модуля пружності зсуву, згину та в’язкості стеблових кормів	210
4.2 Методика обґрунтування параметрів технологічного устаткування	212
4.2.1 Експериментальне устаткування	212
4.2.1.1 Прес попереднього ущільнення	215

4.2.1.2 Барабанний дозатор консервантів	217
4.2.1.3 Двогвинтовий ущільнювач рослинної сировини.....	218
4.2.2 Методика проведення експериментальних досліджень.....	220
4.2.2.1 Планування досліджень пресу попереднього ущільнення.....	220
4.2.2.2 Планування досліджень дозатору консервантів і двогвинтового ущільнювача.....	222
4.2.3 Статистична обробка отриманих даних і аналіз математичної моделі процесу	223
4.2.3.1 Статистична обробка і оцінювання результатів досліджень.....	223
4.2.3.2 Особливості статистичної оцінки якісних показників роботи дозаторів і змішувачів	229
4.2.3.3 Методика визначення якісних показників барабанного дозатору сипкого консерванту	238
4.2.3.4 Визначення якісних показників процесу ущільнення рослинної сировини	241
4.2.3.5 Аналіз математичної моделі процесу	243
4.3 Висновки по розділу	248
РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО – ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ..	249
5.1 Фізико-механічні властивості рослинної сировини	249
5.1.1 Модуль пружності зсуву стебел, сформованих в пучок	249
5.1.2 Модуль пружності згину стебел, сформованих в пучок.....	250
5.1.3 Коефіцієнт в'язкості рослинної сировини	250
5.1.4 Показники якості рослинної сировини	252
5.2 Параметри технологічної лінії ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням консерванту	255
5.2.1 Конструктивно-технологічні параметри процесу попереднього ущільнення.....	255
5.2.1.1 Проведення дослідження	255
5.2.1.2 Конструктивно-технологічні параметри пресу попереднього ущільнення.....	258
5.2.2 Конструктивно-технологічні параметри процесу внесення сипкого консерванту	266
5.2.2.1 Проведення дослідження	266

5.2.2.2 Конструктивно-технологічні параметри дозатора сипких консервантів	268
5.2.3 Конструктивно-технологічні параметри процесу двогвинтового ущільнення рослинної сировини.....	273
5.2.3.1 Проведення дослідження.....	273
5.2.3.2 Конструктивно-технологічні параметри двогвинтового ущільнювача рослинної сировини.....	274
5.3 Висновки по розділу	283
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОРМОЗАГОТІВЛІ НА МОЛОЧНИХ ФЕРМАХ.....	286
6.1 Економічне обґрунтування запропонованих варіантів технологій заготівлі сінажу	286
6.2 Оцінка функціонування біотехнічної системи при використанні сінажно – концентратних раціонів із запропонованими варіантами технологічних ліній	304
6.3 Висновки по розділу	314
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	318
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	322
ДОДАТКИ	355
ДОДАТОК А Технологічний регламент <small>Ошибка! Закладка не определена.</small>	
ДОДАТОК Б Матриці планування експериментально–виробничих досліджень	380
ДОДАТОК В Результати експериментально–виробничих досліджень процесу попереднього ущільнення	381
ДОДАТОК Г Попереднє оцінювання експериментальних даних.....	384
ДОДАТОК Д Показники рівняння регресії.....	385
ДОДАТОК Е Попереднє оцінювання експериментальних даних	391
ДОДАТОК Ж Показники рівняння регресії	392
ДОДАТОК З Результати експериментально–виробничих досліджень процесу ущільнення	395
ДОДАТОК И Показники рівняння регресії	399
ДОДАТОК К Економічна оцінка варіантів запропонованих технологічних ліній	403
ДОДАТОК Л Акт про проведення експериментальних досліджень.....	413

ДОДАТОК М Акт про проведення виробничих випробувань	414
ДОДАТОК Н Акт упровадження результатів науково-дослідницьких, дослідно-конструкторських та технологічних робіт	415
ДОДАТОК О Акти впровадження у навчальний процес.....	417

ВСТУП

Ефективне функціонування фермських господарств у сучасних умовах потребує розробки та впровадження у виробництво перспективних енергоощадних технологій, які відповідають світовим стандартам та дозволяють зменшити в першу чергу неповернені втрати поживних речовин в кормах рослинного походження при їх зберіганні.

Актуальність теми. Молочне скотарство є важливою галуззю сільського господарства України. Від його розвитку безпосередньо залежить ефективність функціонування молокопродуктового підкомплексу, який виконує низку завдань, серед яких основним є забезпечення продовольчої безпеки держави. Молоко займає другу позицію в структурі валового продукту сільського господарства, протягом останніх 5 років його частка становить близько 15%.

В той же час, в країні спостерігається занепад галузі, зокрема і відбувається стійке скорочення поголів'я худоби, зменшення виробництва і споживання молока, зберігається висока собівартість виробництва, а також неможливість існуючих технологій забезпечити відповідну якість молока. Так, протягом 1990-2014 рр. у сільськогосподарських підприємствах чисельність молочного стада зменшилася з 6,23 до 0,53 млн. голів, тобто на 91,5%, валове виробництво у них знизилося з 18,62 до 2,65 млн. тонн. Внаслідок цього ситуація, яка склалася в даний час в агропромисловому комплексі по виробництву молока, з точки зору продовольчої безпеки України, є надзвичайно критичною. Дефіцит споживання населенням країни молока та молочної продукції, згідно даних Національного проекту «Відроджене скотарство» Міністерства аграрної політики та продовольства, складає 35,7%. Фактичний рівень споживання молока на одну особу в Україні сягає лише 61,6% від його нормативу за рік.

Вочевидь, скорочення поголів'я корів та обсягів виробництва продукції у господарствах зумовлено низьким рівнем прибутковості молочного скотарства. Вирішення цієї проблеми є можливим лише за умови переведення галузі на

інноваційні технології кормозаготівлі, своєчасної якісної годівлі тварин та зниження затрат на виробництво молока [1-9].

Корми складають більшу частину собівартості продукції тваринництва і визначають її якість. Частка витрат на корми в собівартості молока перевищує 60 %, тому найбільший інтерес викликають технології, які дозволяють виробляти якісніші корми при зниженні їх вартості. Повне задоволення потреби в кормах може бути досягнуто не тільки шляхом підвищення врожайності кормових культур, але і поліпшенням якості, зниженням втрат поживних речовин кормів у процесі заготівлі, переробки та зберігання.

Якість кормів суттєво впливає на рівень їх витрат та продуктивність тварин. При застосуванні незбалансованих за поживністю (білком, протеїном, вітамінами, мікроелементами і т.п.) раціонів, навіть за умови достатнього вмісту кормових одиниць, продуктивність тварин знижується, витрати кормів зростають. В кінцевому підсумку це підвищує собівартість продукції й знижує ефективність галузі. Недостатня забезпеченість молочного тваринництва якісними кормами спричиняє яловість, розвиток різних хвороб і загибель молодняку [1, 4, 10, 11, 12, 13].

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 6000-7000 кг молока, при однотипній цілорічній системі годування, основу якої складають високоякісні консервовані корми. Однак при заготівлі саме цих кормів спостерігаються найбільші втрати поживних речовин (силосу 20-30%, сінажу 15-20%), що обумовлюються, насамперед, недосконалістю вітчизняних технологій заготівлі консервованих кормів [14, 15].

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

Вирішення даної народногосподарчої 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.

Тому поряд із проблемами, пов'язаними із заготівлею та збиранням, постають проблеми з удосконаленням технологій та технічних засобів для закладання на зберігання, внесення консервуючих агентів та пакування у повітрянепроникні пакунки. Саме це дозволить зменшити матеріальне та енергетичне навантаження на процес зберігання рослинної сировини та збільшить продуктивність тварин через отримання якісних та збалансованих кормів.

Тому розробка енергоощадних технологій та технічних засобів в кормовиробництві, що підвищує рівень конверсії корму в продукцію тваринництва, є дуже актуальною проблемою.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з планом держбюджетних НДР Таврійського державного агротехнологічного університету міністерства освіти та науки “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 завдання 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 довготривалі 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 доданням сипким консервантом 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 процесу 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 закладання 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» (Запорізька обл., м. Мелітополь).

За результатами досліджень автора розроблено лінії двоступеневого ущільнення та закладання рослинної сировини до полімерних сховищ, які включають прес попереднього і двогвинтовий пристрій подальшого ущільнення стеблової маси, а також дозатор сипкого консерванту та прилад для контролю яко-

сті ущільненої маси. Вказані лінії пройшли широкі виробничі випробування у ТОВ «АГРОДОМ» Нижньосірогозького району Херсонської та у фермерському господарстві «Альфа-Юг» Чернігівського району Запорізької областей.

Основні положення дисертаційного дослідження використовуються у програмах навчальних дисциплін «Моделювання технологічних процесів у АПК» і «Проектування технологічних процесів у тваринництві» Таврійського державного агротехнологічного університету (Запорізька обл., м. Мелітополь).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно [47, 53, 57, 81, 82, 89, 90, 96, 113, 116, 117, 185, 186, 188, 189, 201, 202, 203, 204, 227, 228, 229, 247, 248, 276, 278, 289, 302]. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: розробка схеми технологічного обладнання для заготівлі рослинної сировини на основі аналізу результатів існуючих досліджень [54, 58, 88, 95, 226], запропоновано методику оцінки ефективності зберігання кормів із використанням окремих параметрів техніко-технологічного забезпечення тваринництва [54, 79, 91], розроблено рекомендації щодо створення повнораціонних кормів із оцінкою параметрів процесу внесення дрібнодисперсних матеріалів [48, 301]. 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 Ва-

силенко 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 2012р, 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 об’єм 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.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНІКО – ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРМОЗАГОТІВЛІ.
ПРОБЛЕМИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сучасний стан молочного скотарства та його соціально – економічне значення для України

Молочне скотарство України виробляє достатньо молока для забезпечення фактичного рівня споживання (який є досить низьким через недостатню купівельну спроможність населення), проте не достатньо для забезпечення виконання фізіологічної норми споживання молока для однієї особи, яка знаходиться на рівні 370 кг на рік (табл. 1.1). Так, з 2000 по 2014 роки фонд споживання молока в Україні скоротився на 2,1% — до 9581 тис. тонн, а в розрахунку на одну особу — зріс до 222,8 кг або на 11,9%. Таку ситуацію варто пов'язувати із скороченням чисельності населення країни.

За даними обласних управлінь статистики у 2014 р. найменше молока споживалося у Луганській та Запорізькій області — 190,6 та 194,6 кг молока та молочних продуктів в перерахунку на молоко в середньому на одну особу на рік. А найбільше середньорічне споживання молока та молочних продуктів спостерігалось в Чернівецькій (249,6 кг/особу) та Івано-Франківській області (260,9 кг/особу).

Проведемо аналіз стану розвитку галузі. Так, за останні 15 років поголів'я корів в країні скоротилося в 2,2 рази — з 4958,3 тис. голів до 2262,7 тис. голів (рис. 1.1). Така ситуація пов'язана із зниженням прибутковості галузі скотарства, як молочного так і м'ясного, починаючи з 90-тих років минулого століття.

Що стосується виробництва молока, то тривалий час існувала стійка тенденція до зниження валових надоїв, яка була дещо змінена в 2012 році.

Таблиця 1.1 - Баланс молока України в 2000 - 2014 рр., тис. тонн

Показники	Рік														
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Виробництво	12658	13444	14142	13661	13710	13714	13287	12262	11761	11610	11249	11086	11378	11488	11133
Зміна запасів на кінець року	-394	-338	315	-106	-360	27	174	-72	-78	230	-11	-9	90	-45	85
Імпорт	50	100	59	74	80	112	150	199	234	455	273	257	410	548	357
Всього ресурсів	13102	13882	13886	13841	14150	13799	13263	12533	12073	11835	11533	11352	11698	12081	11405
Експорт	1100	1900	925	1145	2126	1901	950	939	1140	919	956	964	820	769	527
Витрачено на корми	2203	1990	2092	1863	1296	1270	1326	1141	1038	1126	1099	1020	1072	1252	1153
Втрати	10	5	10	6	3	3	7	5	5	10	8	5	9	10	14
Фонд споживання	9789	9987	10859	10827	10725	10625	10980	10448	9890	9780	9470	9363	9797	10050	9581
у розрахунку на 1 особу, кг	199,1	205,2	225,3	226,4	226	225,6	234,7	224,6	213,8	212,4	206,4	204,9	214,9	220,9	222,8

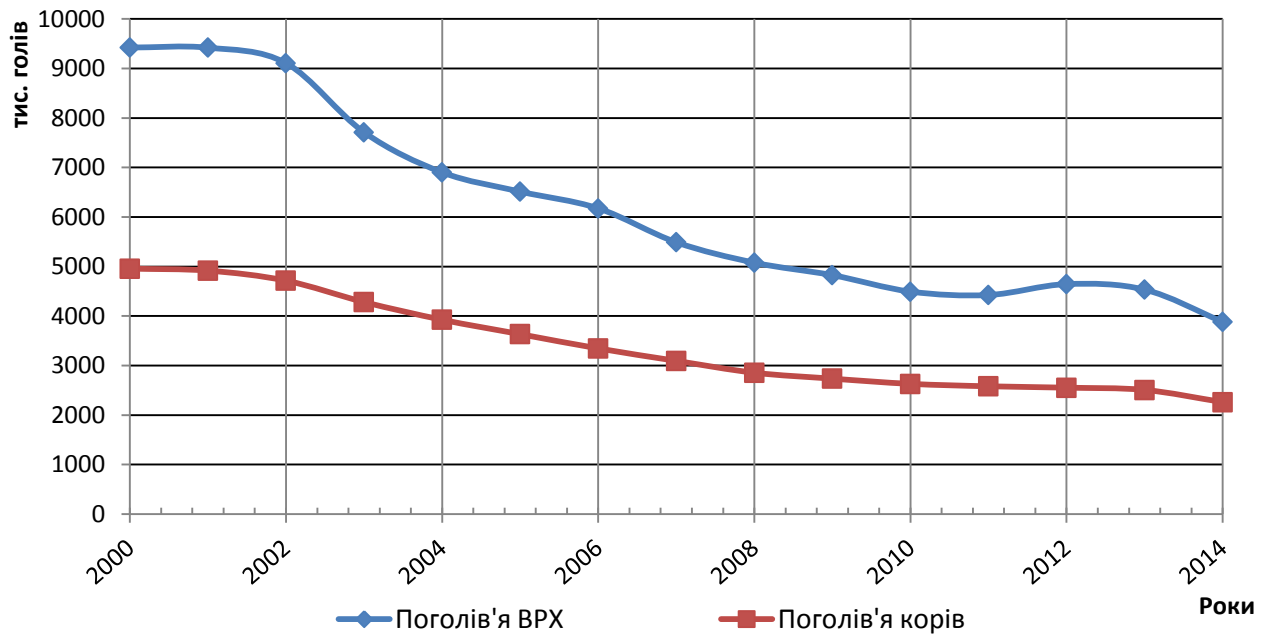


Рис. 1.1 - Динаміка поголів'я ВРХ та корів в господарствах усіх категорій

В 2014 році було надоєне 11132,8 тис. тонн молока в господарствах усіх категорій, що на 12,05% менше, ніж в 2000 р. При цьому позитивні зміни у виробництві молока слід пов'язувати із збільшенням технологічної ефективності виробництва молока — зростанням продуктивності корів (рис. 1.2).

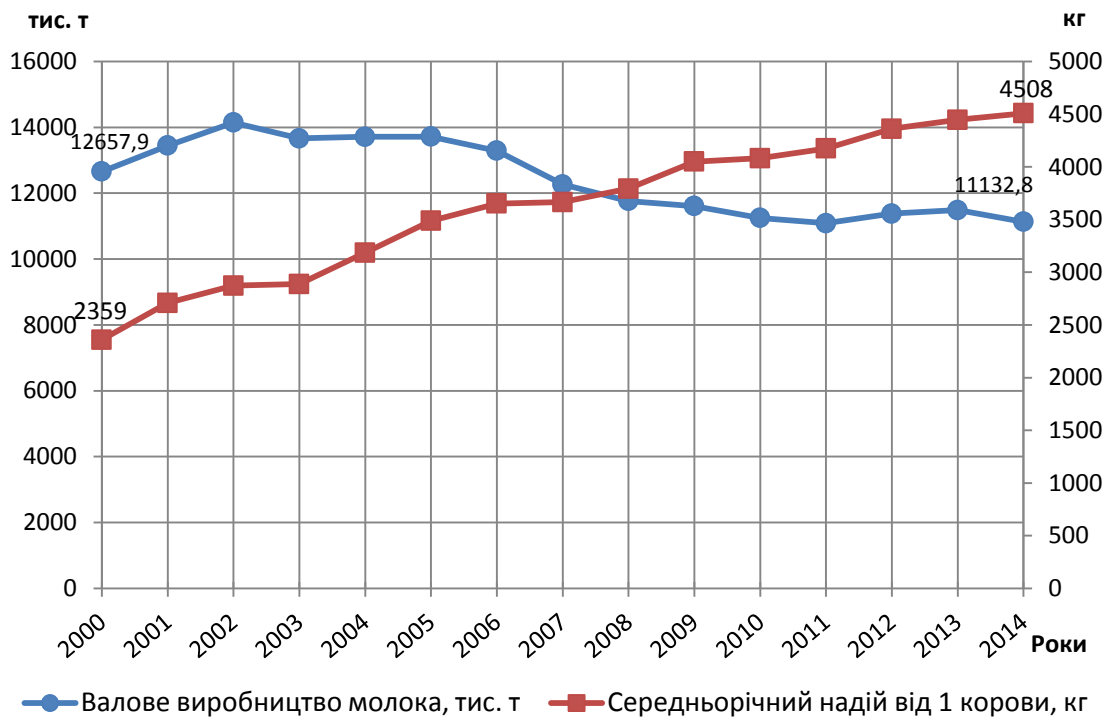


Рис. 1.2 - Динаміка виробництва молока в Україні

Так, в 2014 р. середньорічна продуктивність корів в господарствах усіх категорій становила 4508 кг, що на 91,1% більше ніж в 2000 р.

Проте не лише продуктивність визначає ефективність ведення молочно-го бізнесу. Необхідно звернути увагу і на цінову ситуацію та рівень рентабельності галузі (рис. 1.3).



Рис. 1.3 - Середньорічна ціна реалізації та рівень рентабельності виробництва молока в сільськогосподарських підприємствах

Середньорічна ціна реалізації молока за 15 років зростає у 6,7 рази – з 536 до 3588,4 грн./т, при чому різкі стрибки цін відбулися у 2008 році (з 1661 до 2065 грн./т) та у 2010 році (з 2939 до 3042 грн./т). Виробництво молока в сільськогосподарських підприємствах з 2007 року було прибутковим, в 2014 році рівень рентабельності становив 11%.

1.2 Технології заготівлі основних компонентів раціону

Технології заготівлі кормів визначаються, насамперед, типами корму. Основними типами кормів, що заготовляють, є сіно, сінаж та силос. Сировиною для заготівлі сіна і сінажу є трави природніх луківних угідь, висівні багаторічні бобові, злакові та бобово-злакові травосумші, однорічні трави. Основною силосною культурою в нашій державі являється кукурудза. Окрім того, для заготівлі силосу використовують багаторічні та однорічні трави, кормовий люпін, соняшник та інші культури.

Технологічна схема заготівлі основних видів кормів представлена на рис. 1.4.

1.2.1 Технології заготівлі сіна

Сіно – це вид об'ємистого корму, одержаний шляхом зневоднення скошеної зеленої маси природним сушінням та за допомогою активного вентилявання.

Сіно є важливим джерелом повноцінної годівлі тварин у зимовостійловий період. Це джерело грубоволокнистої клітковини, необхідної для нормального функціонування шлунково-кишківникового тракту тварин.

Сіно виробляють із зеленої маси чистих і змішаних травостоїв одно-і багаторічних злакових і бобових трав, трав природних кормових угідь, рідше - із зеленої маси інших кормових рослин.

Технологія заготівлі сіна складається з окремих операцій, спрямованих на доведення зеленої маси до вологості 17-18% і запобігання її повторного зволоження.

Скошування. Термін першого укосу трав на сіно визначається фазою розвитку переважаючих компонентів травостою. Сіяні злакові трави скошують в фазі колосіння - початку цвітіння, сіяні бобові трави - в фазі бутонізації - початку цвітіння. У чистих посівах бобові трави доцільно скошувати у фазі цвітіння. Висота скошування залежить від рослин, що переважають у травостої, фази їх розвитку та подальшого використання травостою.

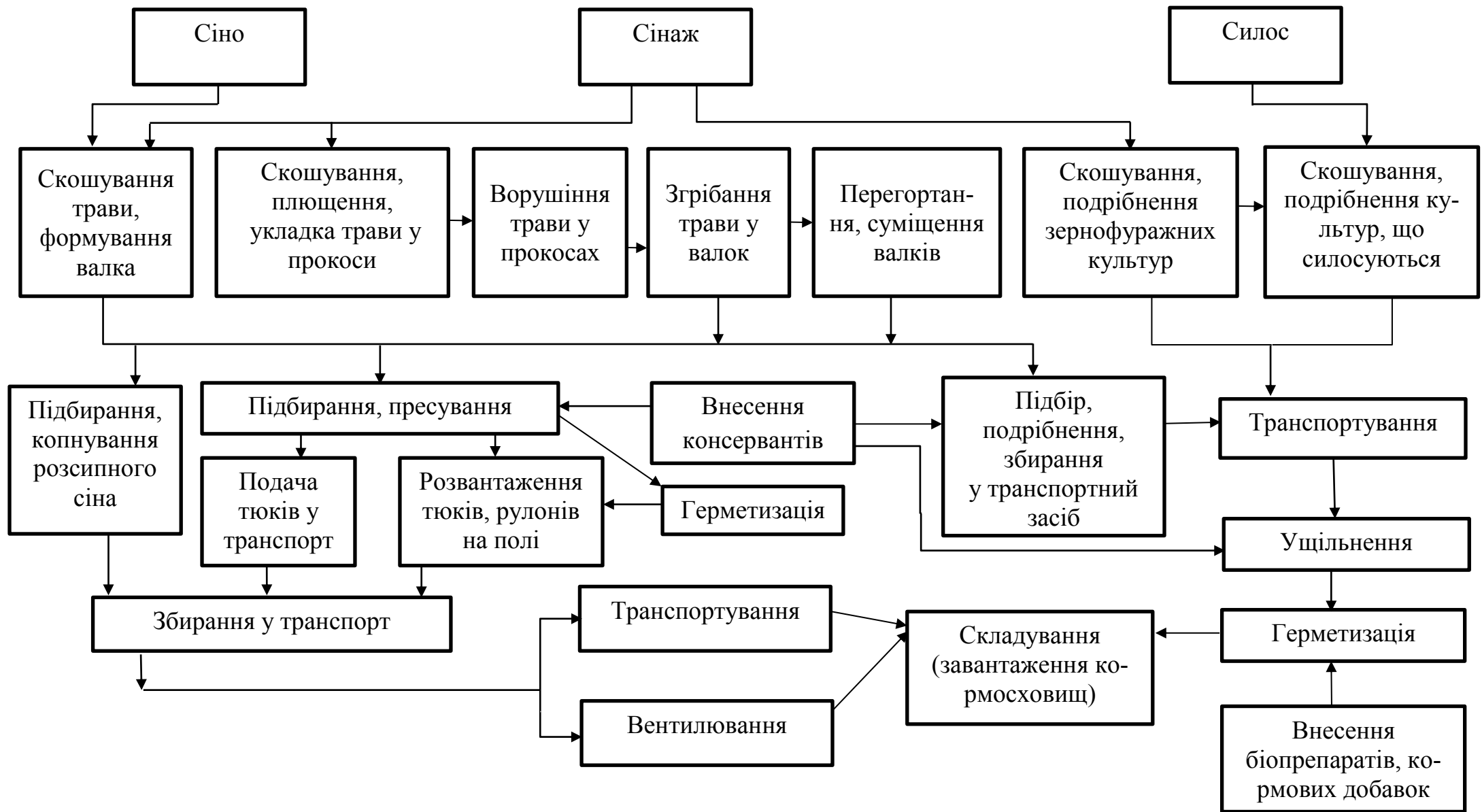


Рис. 1.4 - Технологічна схема кормозаготівлі основних видів кормів

Більшість травостоїв скошують на висоті 4-6 см, травостої з переважанням низових рослин - на висоті 3-4 см. На 1-2 см вище скошують трави в другому укосі. У перший рік доцільно скошувати трави на висоті 8-10 см. В останньому укосі висоту скошування трав доводять до 8-9 см, якщо в наступному році припускають використовувати їх на насіння. Косіння трав краще проводити в ранкові та вечірні години. Зріз повинен бути повним і рівним, втрати при косінні не повинні перевищувати 2%. Агротехнічний термін збирання трав на сіно не повинен перевищувати 10-12 днів. Трави скошують в прокоси і валки.

Плющення. Доцільно піддавати плющенню зелену масу бобово-злакових і бобових травостоїв. Швидкість висихання трави злакових рослин під впливом плющення збільшується незначно. При збиранні на силос і сінаж недоцільно плющить бобові трави, що збираються в фазі цвітіння. Плющення здійснюють тільки в суху погоду, оскільки після плющення маса більше зволожується від роси, туману і дощу. У дощову погоду плющення може привести до збільшення втрат каротину і поживних речовин. Кількість повністю і частково розплющених (зламаних) рослин має становити не менше 90% загальної маси. Обрив листя і суцвіть не припускається.

Ворушіння. Ця операція спрямована на те, щоб розпушити зелену масу, яка знаходиться в прокосах або валках. Ворушіння сприяє більш швидкому і рівномірному її висиханню. Перше воршіння проводять по мірі підсихання верхнього шару трави, частіше через 1-2 год., в негоду - через 2-4 години після скошування. На високоврожайних угіддях (до 20 т зеленої маси з 1 га) перше воршіння валків проводять безпосередньо після скошування, наступні - в залежності від погодних умов (через 2-4 год.). Впродовж одного дня необхідність повторного воршіння з'являється, зазвичай, лише при високій врожайності трав і випадінні дощу на скошену масу. У гарну погоду проведення трьох воршінь цілком достатньо. У прокосах воршіння здійснюють при вологості маси не менше 40% для злакових і не менше 55% - для бобових трав, коли листя і суцвіття ще не обламуються робочими органами машин. У вал-

ках ворущіння можливо при вологості маси до 25-30%. Менш значним буває ворущіння маси при обертанні валків, яке проводять зазвичай при випадінні дощів. Загальні втрати не повинні перевищувати 1,5%.

Згрібання у валки. Цю операцію проводять при скошуванні трави в прокоси. У валках трава просихає повільніше, ніж в прокосах, але це сприяє зменшенню механічних втрат і меншому зниженню поживної цінності трави. Траву злакових згрібають у валки при вологості в середньому 50-45% (не менше 35%), а бобові - 60-66% (не менше 50%). При низькій врожайності можна відразу після скошування згрібати траву у валки. При значному просиханні трави в прокосах краще згрібати її в валки вранці або ввечері. При сприятливих умовах тривалість сушіння трави в прокосах і валках при збиранні бобово-злакового травостою з продуктивністю до 4,5 т сіна з 1 га може становити 2 доби, до 7 т/га - 3 доби.

Пресування. За допомогою пресування сіна можна зменшити потребу в сховищах в 2-3 рази. Цей прийом сприяє підвищенню якості корму в результаті зниження втрат листя в порівнянні з розсипним неподрібненим сіном, а також зменшення затрат ручної праці при збиранні та згодовуванні сіна. Пресують сіно в прямокутні тюки або циліндричні рулони. Для пресування необхідна рівномірно висушена маса, яка не містить крупностеблових рослин. Тому сіно з низинних і заплавлених луків низького рівня, в їх травостоях зазвичай зустрічається багато різнотрав'я, що важко висихає, і воно менш придатне для пресування. Масу, що підлягає пресуванню, з валків підбирають при вологості 20-22%, в південних районах - 20-24% при щільності пресування не більше 130 і 190 кг/м³ відповідно. Щільність пресування визначають виходячи із середньої маси тюка (рулону) і його об'єму. При досушуванні сіна активним вентиляванням масу пресують у лісостепових зонах при вологості 25-30%, в степовій - 30-35%, при щільності пресування не більше 110-120 кг/м³. Добре просушену масу можна пресувати до 150-200 кг/м³. Зазвичай щільність пресування не перевищує 140 кг/м³. Втрати при пресуванні сіна в тюки

(рулони), а також незв'язаність рулонів повинні складати не більше 2%. Забруднення маси, що підбирається землею не припускається.

Навантаження і транспортування. Під час навантаження в транспортний засіб сіно не повинно розсипатися, перетиратися і забруднюватися. Тюки (рулони) при навантаженні розсипного сіна повинні зберігати свою форму і розміри, втрати не повинні перевищувати 2%, порушення в'язки рулонів - не більше 1%. При транспортуванні сіна втрати не припускаються.

Скиртування. Скирта - це форма укладання сіна. У горизонтальному перетині скирта має прямокутну форму. Вершина у скирти округла. Формою укладання пресованого сіна є штабель. Укладати сіно в скирти, штабеля слід при його вологості 17-18%. При укладанні сіна з більшою вологістю застосовують активне вентилявання та інші способи запобігання псуванню маси, яка закладається на зберігання.

Активне вентилявання. Цей прийом дозволяє скоротити період перебування зеленої маси в польових умовах, зменшити втрати поживних речовин, отримати більш якісне сіно, зменшити залежність прибирання сіна від погодних умов.

Як правило, вологість маси бобових трав, які підлягають активному вентиляванню, не повинна перевищувати 55%, злакових (в розсипному вигляді) – 40%, а сіна в тюках - 35%. Сіно вологістю 30-45% активним вентиляванням досушують пошарово, вологістю не більше 30% - в повній укладці (стіг, скирта, сарай). Вентилювання маси починають при висоті шару 1-1,5 м не пізніше, ніж через 6 годин після початку укладання. При зниженні вологості першого шару до 25-30% (для чого потрібно 3-4 дні), укладають ще один шар такої ж товщини і продовжують сушку [16].

Активне вентилявання здійснюють, продуваючи через пров'ялену траву, що знаходиться в стогах, скиртах, сінних сараях, холодний або підігріте в залежності від погоди в різному ступені (максимум до 50-60 ° C) повітря. Для доведення вологості сіна до 17% відносна вологість повітря, що продувається повинна складати не більше 68%. Висушувати сіно до вологості менше 17%

нераціонально, так як це пов'язано зі збільшенням витрат енергії. Суха ж маса згодом зволожуватиметься від навколишнього повітря. Сіно вважається висушеним, якщо через 3-4 доби після закінчення вентилявання при включенні вентиляторів на 30-40 хв. не виявляються потоки теплого повітря, що виходить з сіна. Якщо вентилявання проводять для зменшення температури сіна при його самозігріванні, то періодично використовують і вологе повітря. Періоди подачі повітря при цьому чергують з припиненням вентилявання. Досушування трави вологістю 45% при використанні невідігрітого повітря триває 4-7 днів [16, 17].

Внесення консервантів. З метою зниження втрат поживних речовин корму при заготівлі і зберіганні, підвищення його якості доцільно використовувати хімічні та біологічні консерванти кормів. Для запобігання гниття приготованого в негоду сіна і його псуванню необхідно використовувати рідкі консерванти такі як: пропіонову кислоту, мурашину кислоту, оцтову, бензойну, або їх суміші. Хімічні консерванти стримують розвиток гнильних і маслянокислих бактерій, зменшують втрати поживних речовин, дають можливість зберегти частину цукру в масі, що консервується. Біологічні засоби цілеспрямовано впливають на бродильні процеси в масі, що консервується і збагачують її цінними поживними речовинами. Доцільно піддавати обробці хімічними консервантами тільки високоякісне сіно в несприятливу для сушки погоду.

До теперішнього часу відомо кілька технологічних схем внесення консервантів: обприскування рослин на корені перед скошуванням; обробка рослинної маси консервантом в процесі підбору в камеру пресування; внесення консервантів на стаціонарних пунктах перед закладкою на зберігання; обробка рулонів препаратами перед закладкою на зберігання.

Зберігання. Втрати сухої речовини при зберіганні розсипного сіна в скиртах на відкритому майданчику не повинні перевищувати 5-8%, пресованого в штабелях - 2,5, під навісом - 2-3%.

1.2.2 Технології заготівлі сінажу

Сінаж - це консервований в герметичних умовах корм, приготований з трав, пров'ялених в полі до вологості 45-50% (В. М. Куликів, Ю.Д. Рубан, [18]; В. Н. Баканов, В. К. Менькин, [19]; В. К. Менькин, [20]). У 1кг сінажу міститься 50-55 г перетравного протеїну і до 25-35 міліграма каротину. Поживність сінажу, приготованого при своєчасному скошуванні трав, складає 0,3-0,4 кормових одиниць, активна кислотність (рН) - 5,0-5,5, тобто сінаж - корм прісний. За змістом сухої речовини сінаж є середнім між сіном і силосом (А.П. Дмитроченко, П. Д. Пшеничний [21]; Г. А. Богданов, [22, 23]; Л.Г. Боярський, [24]).

В порівнянні з сіном і силосом сінаж має ряд переваг, які полягають в тому, що підвищується поживність і засвоюваність корму, зменшуються втрати поживних речовин при заготівлі, зберіганні і згодовуванні, знижуються витрати праці за рахунок застосування комплексної механізації. До мінімуму зводяться втрати найбільш цінних частин рослин - листя і суцвіть. Наприклад, втрати поживних речовин при збиранні і зберіганні кормів складають в силосі - 30-35%, в сіні польової сушки - 25-40%, а в сінажі - 12-15%. У сінажі майже повністю зберігається цукор, а в силосі він перетворюється на органічні кислоти. Тому при згодовуванні сінажу твариною в їх організмі створюється сприятливе цукро - протеїнове відношення.

В результаті покращується перетравність поживних речовин раціону, підвищується продуктивність тварин (В. Ю. Іоффе, П. С. Авраменко, А. М. Бурмістов, [25]; Г. И. Архіпов, Г. В. Епифанов, Т. Л. Карасева та ін. [26]; А. И. Девяткин, Е. И. Ткаченко [27, 28]; А. А. Панкратов, А. В. Орлов, Ю. С. Рядієв, [29]; М.Ф. Кулик, М.М. Пономаренко, М. Ф. Дудко [30]; Л.Г. Боярський [31]).

Сінаж готують з будь-яких трав, що скошують в ранні фази вегетації, коли вони мають високу енергетичну та протеїнову поживність. Трави пров'яляють у полі до вологості 40-55%, подрібнюють і завантажують в сховища, ізолюючи від доступу повітря. При заготівлі кормів з найбільш цінних за

поживністю трав, таких як конюшина і люцерна, застосування методу сінажування дозволяє отримати високоякісний корм, в той час як з цих трав важко отримати високоякісні сіно (через великі механічні втрати) і силос (більшість бобових важко силосується) [19, 22, 23]; R. Anderson, H.J. Gracey, S.J. Kennedy [32]; J.H. Harrison, S.D. Soderlund, K.A. Loney [33].

Навіть при ретельній трамбівці в рослинній масі залишається деяка кількість повітря, кисень якого досить швидко витрачається на дихання рослинних клітин. Вуглекислий газ, що утворюється при цьому, заповнює усі вільні простори між частками корму. У такому середовищі, при виключенні доступу повітря ззовні, плісняві грибки не можуть розвиватися (С.Н. Хохрин [34]; С. Weite, Н. Venmenwiz, М. Fechner [35]).

Разом з цим використання сінажу дозволяє краще механізувати процеси кормороздавання. Крім того, сінаж не мерзне взимку, при його заготівлі виключається перевезення зайвої вологи. За рахунок зменшення втрати поживних речовин забезпечується більший вихід продукції тваринництва з одиниці площі.

У досліджах ВНИИ фізіології і біохімії, тварин при однаковому урожаї конюшини червоної в 150 ц зеленої маси з 1 га і приготуванні з неї сінажу були отримані 23 ц корм. од. і 3,3 ц перетравного протеїну, що забезпечило отримання 1,4 ц приросту великої рогатої худоби. При приготуванні силосу і сіна, відповідно, отримане 19 і 12 ц корм, од., 2,3 і 1,9 ц перетравного протеїну, 1,2 і 0,8 ц приросту [27].

Традиційна технологія приготування сінажу, включає в себе скошування и плющення (бобових) трав, їх пров'ялювання в полі до оптимальної вологості, підбір з подрібненням або без нього, закладення в сховище (траншею, башту, полімерні сховища), ретельне трамбування і надійне герметичне укриття [22, 23, 36].

Скошування і плющення трав. Багаторічні бобові трави першого року розвитку, злакові трави та бобово-злакові суміші скошують на висоті 7-9 см. Багаторічні трави першого укосу скошують на висоті 5-6 см, останнього - 7-

9 см за 20-25 днів до настання холодів. Скошування трав слід проводити в ранкові та вечірні години. Зріз стебел повинен бути повним і рівним, втрати при скошуванні не повинні перевищувати 2%.

Для забезпечення прискореного і рівномірного просихання листя і стебел в умовах стійкої сприятливої погоди бобові трави скошують з одночасним плющенням. У загальній масі кількість повністю і частково розплющених (зламаних) рослин має становити не менше 90%. Обрив листя і суцвіть не припускається [28, 37, 38, 39, 40].

Обгортання валків проводиться з метою прискорення пров'ялювання і вирівнювання вологості матеріалу за товщиною валка при вологості скошеної маси не нижче 60-65%. Ширина обгорнутого валка не повинна перевищувати 1200 мм. Пропуски стебел в зоні роботи секції граблів і забруднення маси землею не припускаються. Загальні втрати не повинні перевищувати 1,5%.

Підбір маси з валків. Підбір маси з валків починають при вологості 55-60% з тим, щоб основна кількість її була прибрана при вологості 50-55%. При заготівлі подрібненого сінажу довжина різки (не менше 75% обсягу частинок) повинна становити 2-3 см. Втрати корму при підбиранні з подрібненням, навантаженні і транспортуванні маси не повинні перевищувати 2% [34, 41, 42, 43].

Пресування. При заготівлі неподрібненого сінажу в рулонах щільність пресування маси повинна бути не нижче 300 кг/м^3 . Втрати корму при пресуванні маси повинні складати не більше 2%. В процесі навантаження і транспортування форма і розміри рулонів не повинні порушуватися.

Зберігання сінажу. Неодмінною умовою отримання якісного подрібненого сінажу є обмежений термін заповнення сховища кормом - не більше 3-4 днів. Для цього щоденний шар, завантажувального в сховище, корму повинен складати не менше 1 м при об'ємній масі ущільненого корму $450-500 \text{ кг/м}^3$. Непрямим показником достатнього ущільнення може слугувати температура маси, яка не перевищує при нормальному темпі заповнення сховища $37 \text{ }^\circ\text{C}$.

При заготівлі сінажу в рулонах, упакованих в полімерну плівку, на зберігання складання їх в штабелі по висоті не повинна перебільшувати два яруси. Втрати сухої речовини при зберіганні сінажу не повинні перевищувати 10%.

Герметизація сінажу. У процесі зберігання корму не припускається порушення його герметизації. Якість сінажу досліджують через 30 діб після укриття маси і не пізніше ніж за 15 діб до початку згодовування. Для запобігання доступу повітря до корму заповнене сховище необхідно герметизувати полімерною світлонепроникною плівкою.

При заготівлі сінажу в рулонах спресована рослинна маса в полі або біля місць зберігання повинна бути обгорнута високоеластичною тонкою самокльйкою плівкою в 4-5 шарів. Розрив у часі між формуванням рулону і обмоткою його плівкою не повинен перевищувати 2-3 год.

Технологія заготівлі сінажу в рулонах з упаковкою в полімерний рукав відрізняється лише завершальною операцією - замість індивідуальної обмотки рулони послідовно заправляються в полімерний рукав діаметром трохи більше діаметра рулонів і довжиною до 65-70 м. Збереженість корму знаходиться на рівні з індивідуально упакованими рулонами.

Альтернативною зарубіжною технологією заготівлі сінажу є консервування в плівкових шлангах (рукавах). При цій технології кормова маса за допомогою спеціальної приймальної станції запресовується в полімерні шланги дуже великих розмірів и відразу герметизується. Таким чином досягається практично миттєва ізоляція від доступу повітря, що призводить до швидкого зниження водневого показника рН, а також до рівномірного консервування. Дана технологія може використовуватись для всіх видів силосних кормів в сінажу [26, 44, 45].

Зерносінаж готують із зернових культур в стадії молочно-воскової стиглості, коли силосується маса всієї рослини, включаючи майже стиглі зерна (фаза молочно-воскової, початок повної стиглості). Для виробництва зерносінажу використовують, перш за все, овес і ячмінь. Можна використовувати і

інші зернові культури, якщо підбирати сорти з вузьким співвідношенням між соломною і зерном, що дозволяє виробляти зерносінаж з високим вмістом енергії. Збирають такі напівсухі суміші у фазі воскової стиглості зерна злаків і проводять природне консервування подрібненої масі за технологією сінажу.

1.2.3 Технології заготівлі силосу

Силос відноситься до соковитих кормів, що одержується з зеленої маси рослин. Консервування силосу відбувається за рахунок утворення молочної та оцтової кислот, які продукують мікроорганізми шляхом переробки цукрів та інших вуглеводів. В процесі силосування до сховищ силосу надходить зелена маса, збагачена мікроорганізмами, які здатні викликати гнилісні процеси. Також цьому сприяє і тепло, що виділяється при відмиранні клітин рослини та наявність кисню.

Встановлено, що для якісного силосування необхідна наявність певної кількості молочної кислоти, а саме 1% молочної кислоти достатньо для різкого зменшення активності гнильної мікрофлори та маслянокислих бактерій. Діяльність молочнокислих бактерій залежить від наявності легкокорозчинних цукрів та крохмалю. З вищенаведеного можна зробити висновок, що рослини з підвищеним вмістом цукрів та крохмалю силосуються добре, а рослини які мають високий вміст білка, амідів, та лужних солей кальцію та калію і порівняно низький рівень цукру силосуються погано [16].

Оптимальний вміст вологи в рослинній масі, яка закладається на силос, має становити 60-70%. При такій вологості мікробіологічні процеси протікають не так бурхливо, а втрати поживних речовин не перевищують 15-20%. При силосуванні маси вологістю більше 75% втрати поживних речовин від «чаду» досягають 15-20%, а з витяжкою соку - близько 5%.

При силосуванні слід підтримувати необхідний температурний режим. Оптимальна температура при силосуванні становить 30-35⁰С. При самозігріванні корми до 50⁰С втрати поживної цінності корму досягають 20-40%. Підтримування температури забезпечується темпами завантаження маси в scho-

вище, ущільненням маси і ізолюванням від доступу повітря. Таким чином, для приготування силосу високої якості необхідно забезпечувати швидке завантаження маси в сховище, ретельне ущільнення і укриття від доступу повітря. Щоденний шар корму що укладається в траншею повинен бути не менше 80 см. Час завантаження однієї секції траншеї висотою 2,5-3 м не повинна перевищувати 3-4 днів, а траншей висотою 3,5 м - 5 днів. При заготівлі і закладенні силосу необхідно дотримуватися принципу поточності технологічного процесу збирання, транспортування і закладення маси на зберігання.

Технології заготівлі кормів в траншейних сховищах. При заготівлі силосу за цією технологічною схемою виконують наступні технологічні операції: скошування рослин з одночасним подрібненням і завантаженням у транспортні засоби; перевезення маси до силососховища; укладання та ущільнення маси, герметизація сховища після укладання; укривання сховища від промерзання взимку.

Скошують, подрібнюють та завантажують зелену масу силосозбиральними комбайнами, або причепними, що агрегатуються з тракторами. При роботі силосозбиральних комбайнів слід стежити за висотою зрізу. Вона повинна бути на рівні 10 – 12 см, а рослини подрібнюватися до рівня 30 - 50 мм. Для перевезення маси від комбайнів до місць силосування використовують автомобілі – самоскиди, бортові автомобілі, тракторні причепа, кормороздавачі. Також для прискорення розвантаження бортових автомобілів виготовляють спеціальні решітки або сітки, які укладають на дно кузова, а в траншею їх стягують трактором.

У траншеях масу розкладають рівними шарами і добре ущільнюють, особливо біля стін споруди. Машини зручніше розвантажувати на нижній частині пандусів траншей, а далі маса транспортується та розрівнюється бульдозерами. Ущільнення рахується достатнім при досягненні об'ємної маси 400 – 450 кг на один м³. У разі силосування рослин із високою початковою вологістю зелену масу потрібно пров'ялити.

При завершенні заповнення траншеї і ретельного ущільнення траншею необхідно негайно герметизувати. Верх траншеї краще всього вкривати полімерною плівкою товщиною від 0,15 до 0,3 мм. Плівка повинна вкривати траншею з напуском на боки не менше 0,6 м. По всьому периметру сховища плівку слід заглибити в землю на 30 - 35 см. Плівку, після герметизації корму, посипають негашеним вапном шаром 1 - 1,5 см, для захисту від гризунів, і вкривають землею або торфом [46, 47, 48].

Дослідами наукових установ доведено, що втрати поживних речовин у процесі виймання силосу із траншей місткістю 600 – 700 т протягом двох – трьох місяців можуть становити 8 - 10 %. Тому при вийманні силосу навантажувачі не повинні розпушувати корм, а забирати його по всій відкритій верхній рівними вертикальними шарами [16].

Технології заготівлі кормів в силосних баштах. Силосні башти дозволяють повністю механізувати та навіть частково автоматизувати процеси завантаження та вивантаження силосної маси. Крім того башти не потребують додаткового примусового ущільнення силосної маси. Поряд із перевагами (захист від погодних умов, захист від забруднення тракторами, низького відношення відкритої поверхні до його об'єму), існують дуже важливі недоліки (вартість будівлі, обслуговування тільки висококваліфікованими кадрами).

Технологія заготівлі кормів в наземних сховищах. Застосовують при відсутності капітальних споруд, нестачею транспортних засобів для перевезення силосованої маси від поля до силосних ємкостей. При закладанні силосу у наземні сховища слід дотримуватися основних вимог: вологість сировини повинна бути у межах 70-75%; маса закладеної сировини в один курган не повинна перевищувати 1,5-2 тис. тон, тривалість закладання 3-4 доби; ретельне ущільнення маси із обов'язковим укриттям полімерною плівкою та шаром землі понад 10 см. Розміщують бурти – кургани на сухому підведеному місті із гарно ущільненим ґрунтом та поблизу із тваринницькими фермами.

Високі показники якості і збереження кормів забезпечуються своєчасним виконанням операцій по їх заготівлі в фазі найбільшої концентрації по-

живних речовин з мінімальним розривом у часі. Після скошування травостоїв необхідного вихідного якості отримання кормів першого класу можливо лише протягом декількох годин, сінажу - одного дня. За даними ГНУ ВНДІ кормів, 25% втрат кормів відбувається через порушення технологічного процесу їх заготовки, 33 - через порушення технології зберігання і відсутності консервантів, 20% - через недотримання строків збирання (скошування затягується на термін до 40 днів, а тривалість збирання в 2-3 рази перевищує допустимі агротехнічні терміни). В результаті упускається можливість заготовки висококласних кормів, втрати поживних речовин досягають 50% [49-58].

Від розгляду технологічних операцій заготівлі кормів перейдемо до розгляду технічної системи кормозаготівлі, що забезпечує саме ці операції.

1.3 Існуючі підходи до формування технічних систем забезпечення кормової бази та їх аналіз

Технічна система - це штучно створена сукупність елементів і відношень (зв'язків) між ними, які утворюють цілісну структуру об'єкта, що має властивості, які не зводяться до властивостей елементів, і призначена для виконання корисних функцій.

Технічна система включає такі види технічних об'єктів, як вироби (від невеликої гайки чи шайби до великих турбін) та споруди (від дрібних будівель до технічних комплексів).

У процесі роботи технічні системи перетворюють енергію та інформацію, властивість і стан речовини. Залежно від призначення та принципу дії системи можуть поділятися на машини, апарати та прилади. У випадках, коли складно визначити приналежність системи, використовують поняття «пристрій» або «комплекс».

Кожна технічна система повинна включати в себе чотири основні частини: двигун, трансмісію, робочий орган та орган управління із мінімальною

здатністю до виконання функцій системи. Всі елементи в системі та сама система при загальному розгляді має наступні властивості:

- Структурно – речовинні. Це такі властивості речовини, які визначаються її складом, вмістом компонентів, фізичними особливостями;
- Структурно – польові. У разі, коли вага є невід’ємною властивістю будь-якого елемента, магнітні властивості, колір тощо;
- Функціональні. Спеціалізовані властивості, які можуть бути отримані з різних речовинно-польових сполук, при їх відповідності функціональним вимогам;
- Системні. Сукупні (інтегральні) властивості, на відмінність від вище наведених вони не дорівнюють властивостям елементів, що входять до системи, вони виникають «зненацька» при утворенні системи, це несподівана прибавка – головний прибуток при синтезі нової технічної системи.

Розрізняють два види системних прибутків, а саме системний ефект (непропорційно велике підсилення (зниження) властивостей, які мають елементи) та системна якість (виникнення нової властивості, якої не було у жодного з елементів до включення їх у систему).

Поділ технічних об’єктів на машини, апарати та прилади тощо та на «технічні системи» носить умовний характер. Системою може бути певна сукупність самодостатніх машин, апаратів чи приладів і, в той же час, система чи декілька систем можуть бути складовими тих же машин, апаратів чи приладів. При зміні масштабу задач, що ставляться, система, що вивчається, може розглядатися як підсистема або елемент більш складної системи, а підсистема або навіть елемент – як система. .

В нашому випадку технічна система кормозаготівлі є підсистемою технічної системи кормозабезпечення (рис. 1.5).

В свою чергу технічні системи кормозабезпечення вже представлені та розглянуті у достатньому обсязі у роботах таких відомих вчених як Артюшин А. О., Гарькавий А. Д., Сирвидис Й. Ю., Резник Є.І. та ін..

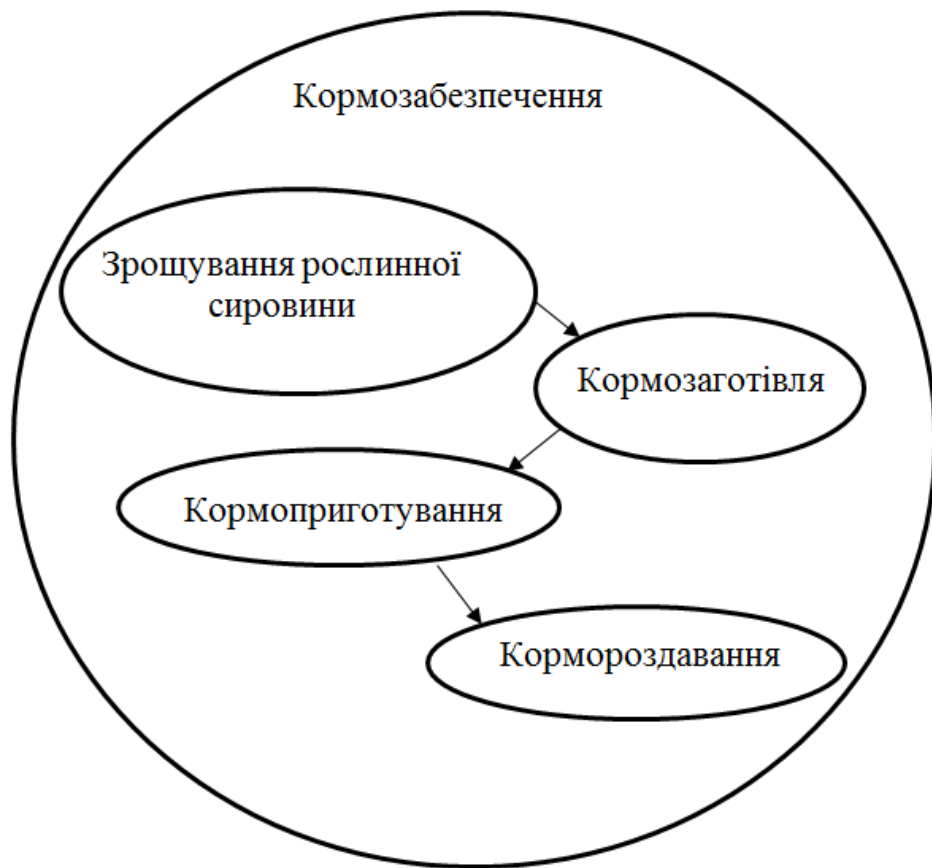


Рис.1.5 – Схема складових елементів технічної системи кормозабезпечення

При детальному розгляді основної концепції, що представлена в роботі Артюшина А. О. слід зауважити на складанні ним структури біотехнічної системи кормозабезпечення (рис. 1.6).

Представлена система кормозабезпечення тваринницького підприємства складається з п'яти блоків – підсистем (1 - тварина; 2 – кормова база; 3 – кормова зона; 4 – програма годівлі; 5 – кормоцех та лінії роздавання кормів) та блока – диспетчера (людина). Кожна з представлених надсистем впливає на системи, що розміщені нижче за ієрархічним розкладом (підсистем). До таких впливів слід віднести потреби тварин у поживних речовинах V_1 , набори кормових ресурсів, які заготовляють V_2 та ті, що є у наявності V_3 , оптимальні V_4 та раціональні V_5 раціони годівлі; дуже суттєву роль автор відвів людині, як керуючому компоненту (впливи $V_9...V_{13}$) та їх зворотній зв'язок у вигляді інформації. Також автор розкриває в схемі вплив зовнішнього сере-

довища ($V_{14} \dots V_{19}$) та природно – кліматичні умови зон розташування підприємств.

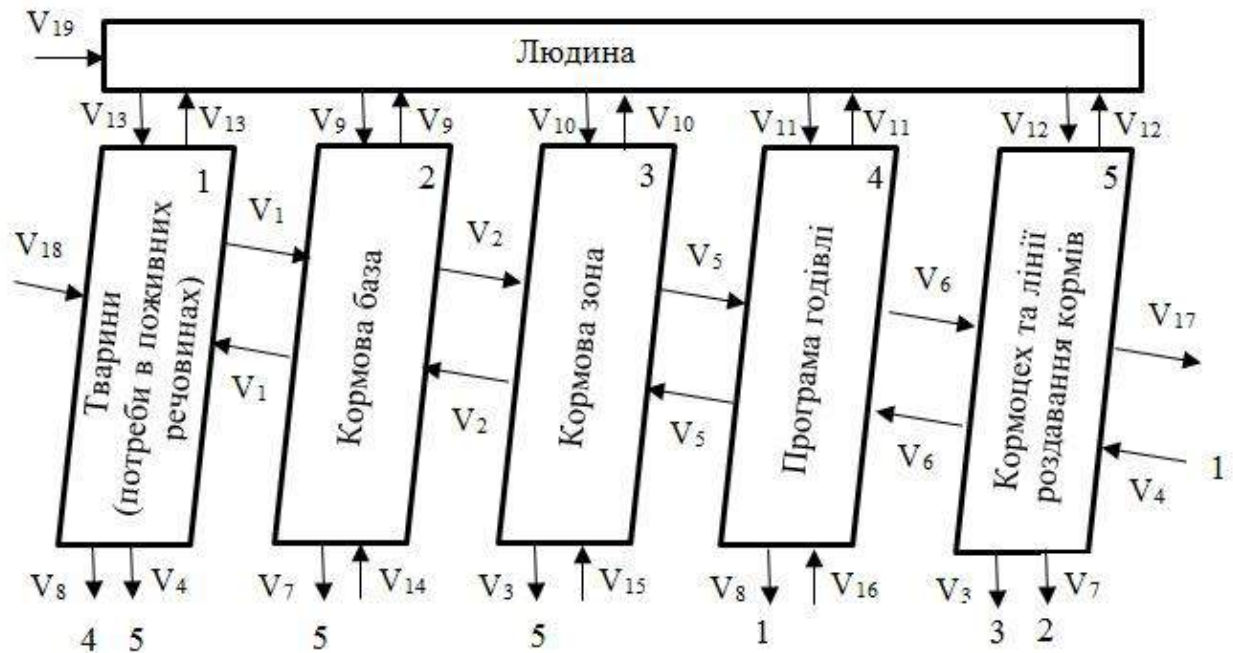


Рис. 1.6 – Схема моделі системи кормозабезпечення тваринницького підприємства

В роботі особливої уваги приділяється визначенню параметрів кормових сховищ та комплекту машин для заготівлі та зберігання об'ємних кормів на тваринницькому комплексі із мінімізацією цільової функції питомих приведених витрат на виконання операцій. З огляду на розвинення зоотехнічних та технічних надбань слід зауважити на деяких недоліках представленої системи кормозабезпечення, а саме на відсутності впливу окремих поживних речовин на кінцевий продукт – молоко або привіс (м'ясо). Також слід зауважити на тому, що автор приділяє основну увагу підсистемі «Кормова зона» та розглядає вплив конструктивно-кінематичних показників кормоцеху та обсягів сховищ. Автор не розглядає можливості пошуку нових перспективних технологій та розвинення системи кормозабезпечення у майбутньому завершуючи свій вклад в роботі моделюванням параметрів та оптимізацією складу машин кормоцеху.

Методичні підходи по енергетичній та економічній оцінці технологічних процесів заготівлі кормів з урахуванням зміни їх якості широко предста-

влені в роботі А. Д. Гарькавого [59]. До цінності приведеної роботи можна віднести розроблений системний підхід до створення технологічних модулів збиральних машин із змінними блоками робочих органів та прогнозуючим коефіцієнтом готовності. Представлена в роботі модель функціонування технологічного комплексу заготівлі кормів з трав та особливості визначення зміни кормової цінності трави по механічних втратах від дії робочих органів і неминучих втрат сухої речовини під час сушіння, наведена на рисунку 1.7, дозволила створити багатоцільову збиральну машину. Її виробництво забезпечило зменшення металомісткості та номенклатури комплексу машин.

До недоліків наведеної системи на сучасному етапі слід віднести представлення втрат поживних речовин при заготівлі в кормах із трав лише у вигляді «механічних» та в залежності від їх вологості. Підтвердженням цього виступають розроблення математичних моделей втрат листків (обламування) при згрібанні бобових трав, при динамічному плющенні скошеної трави або кондиціонуванні та залежності втрат від тривалості польового сушіння.

Однак слід зазначити, що сучасна наука вже дозволяє оцінити якісні показники кормових продуктів за вмістом таких поживних речовин як сирий протеїн, сира клітковина, сирий жир, без азотисті екстрактивні речовини, а не тільки енергетичний вміст та кількість кормових одиниць. На сучасному етапі розвитку біохімії вже не складно оцінити вплив наявності вище наведених компонентів на кількість та якість кінцевого продукту, який одержується в процесі виробничих процесів скотарства це – молоко та м'ясо.

Адже деякі методичні підходи, запропоновані Гарькавим А. Д., такі як створення багатофункціональних та адаптивних агрегатів, актуальні і на теперішній час.

Робота Резніка Є. І. по аналогії з попередньою роботою спрямована на створення нових та модернізованих багатофункціональних схем, що забезпечують одночасне виконання технологічних процесів системи кормозабезпечення, таких як: заготівля, приготування та роздавання кормів на фермах

ВРХ. Автором також було розроблено алгоритм розроблення перспективної техніки для технічної системи кормозабезпечення (рис. 1.8) [60].

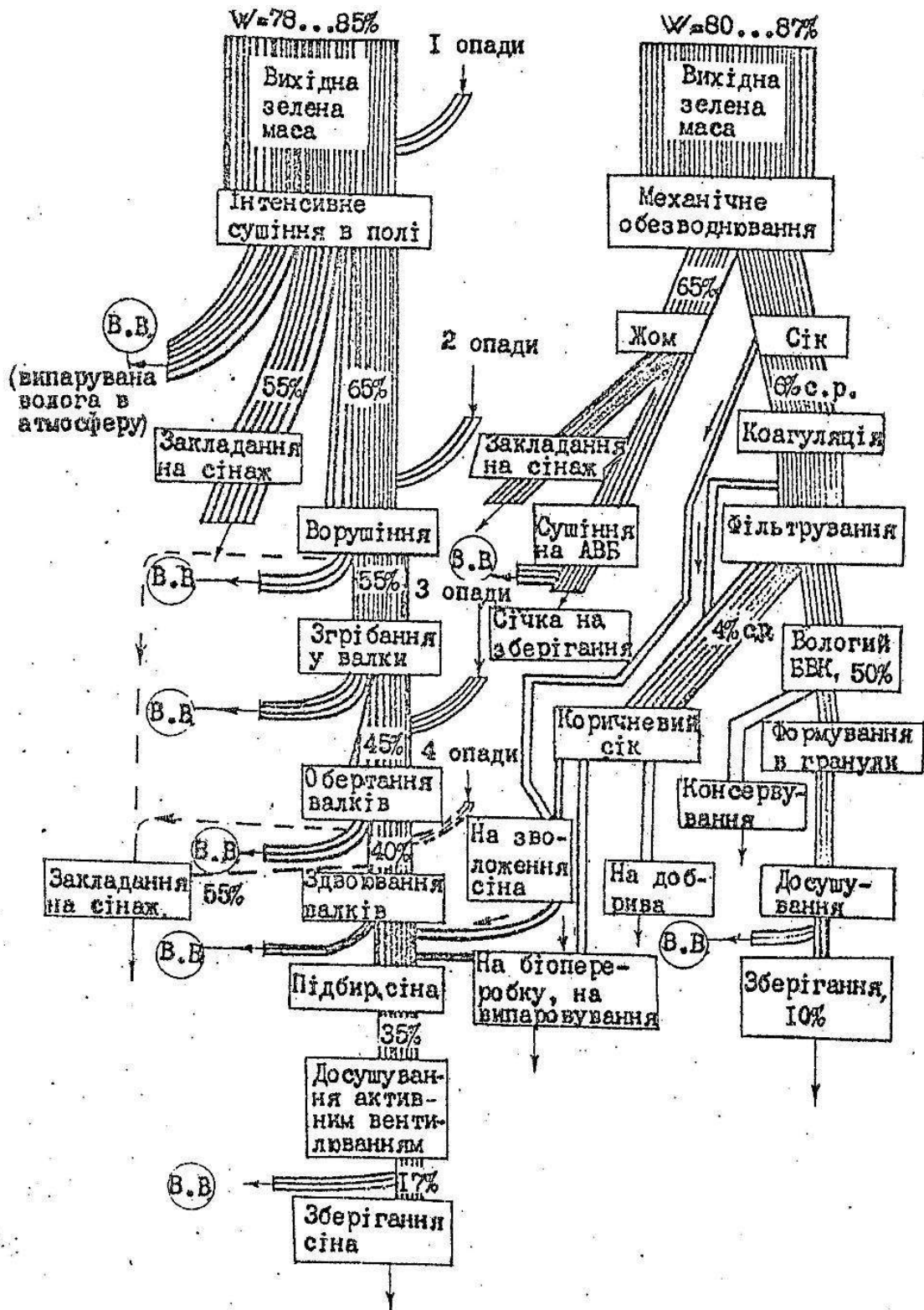


Рис. 1.7 - Комбінована схема зміни балансу води та технологічних процесів заготівлі кормів з трав

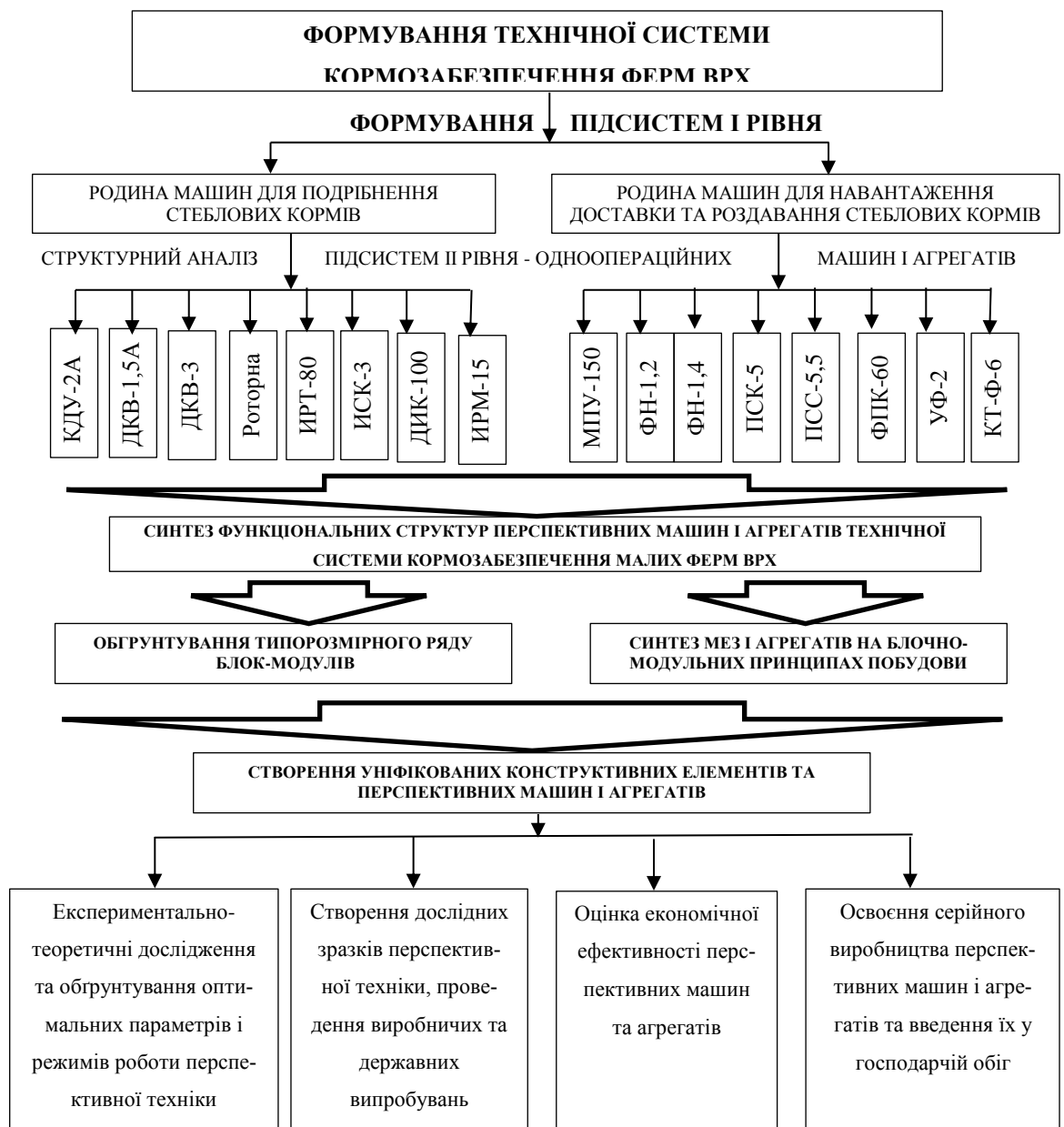


Рис. 1.8 - Алгоритм розроблення перспективної техніки для кормозабезпечення ферм ВРХ

Резнік Є.І. розглядає три етапи створення машин та агрегатів на блочно-модульних принципах:

- Створення окремих робочих органів;
- Створення вузлів та блоків модулів;
- Створення машин та обладнання, об'єднаних у єдину потокову технологічну лінію (ПТЛ) або багатофункціональну схему агрегату.

При розгляді дисертаційної роботи Резніка Є.І. можна помітити великий акцент на розвиненні підсистеми «кормоприготування», а саме використання комплексного методу оцінки якості подрібнення грубих кормів із вдосконаленням технічних засобів, що забезпечують цей процес.

Дисертаційна роботи Сірвідіса Й. Ю. [61], по аналогії із роботою Гарькавого А.Д., висвітлює дослідження щодо прогнозування зміни вмісту поживних речовин в травах, але з відмінністю в тому що цей процес досліджувався в процесі зростання. Автор відобразив залежності для прогнозування динаміки зміни вмісту поживних речовин при зростанні для таких рослин як: конюшина, люцерна, трава культурних луків та трава заливних луків.

Представлені автором залежності втрат сухої речовини в процесі пров'ялювання та природньої сушки трав дозволити зробити висновки щодо доцільності використання процесу кондиціонування та розробити кондиціонер ТК-4 для злакових трав. Проведені автором аналітичні дослідження збирально-транспортного процесу кормів із трав дозволив сформувавши оптимальний склад технологічної лінії для заготівлі сінажу з трав.

До недоліків роботи Сірвідіса Й. Ю. слід віднести недостатню кількість показників якісного корму, а саме лише вміст каротину та сухої речовини, протеїну та кормові одиниці. Тоді як на сучасному етапі розвитку біотехнологій більш точні результати демонструють методики розрахунку поживної цінності кормових матеріалів з використанням оцінки вмісту сирової клітковини, сирового жиру, сирового протеїну та безазотистих екстрактивних речовин.

Проаналізовані вище технічні системи можна враховувати лише як структуру та загальне представлення кормозабезпечення із своїми недоліками.

Представлений підхід розробки універсальних засобів для виконання декількох операцій лише із зміною робочих органів є наступним етапом в удосконаленні підсистеми кормозаготівлі. Позначений підхід є спрощеним кроком до створення ідеальної системи. У разі погляду на загальну схему розвитку технічних систем (рис. 1.9) можна відмітити, що наступним кроком

може бути згортання у робочий орган декількох операцій одночасно поряд із спробами переходу до ідеальної речовини [62].

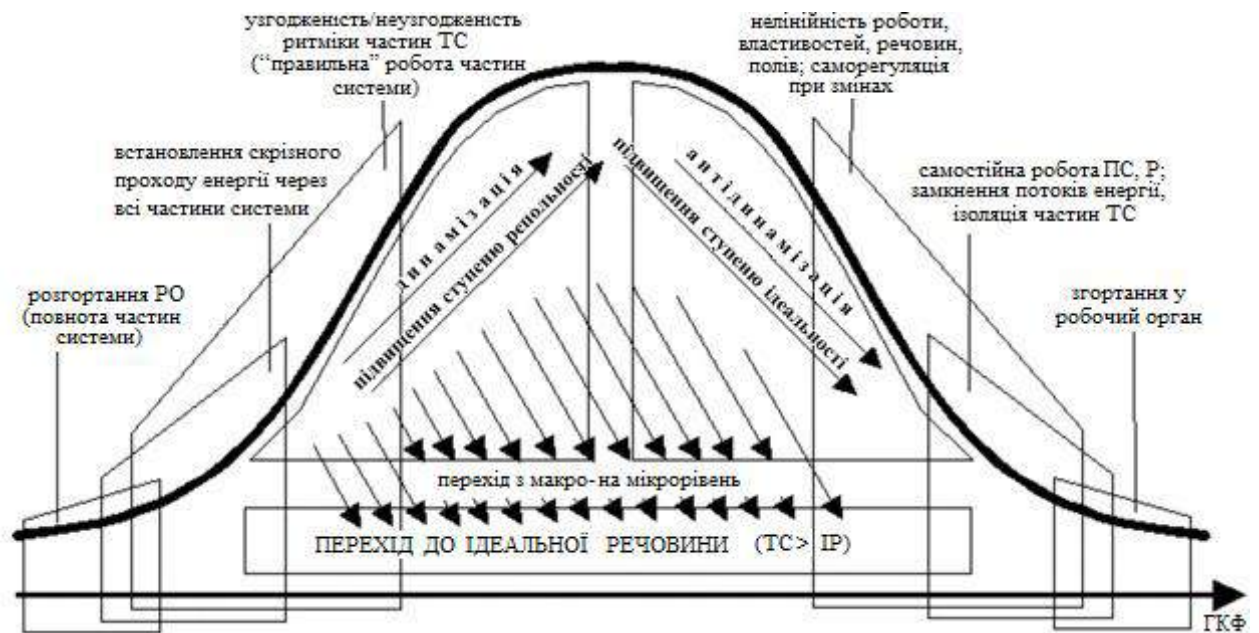


Рис. 1.9 - Загальна схема розвитку технічної системи

При звертанні до теорії розвитку технічних систем можна винайти місце розташування будь-якої системи по шкалі наповнення головної корисної функції та прослідкувати напрямки її подальшого розвитку [62].

На сучасному етапі розвитку технічної системи кормозабезпечення наповнення головної корисної функції знаходиться на рівні з'ясування ритміки частин технічної системи кормозаготівлі (кормозабезпечення зокрема). Однак для виявлення подальшого розвитку можна бачити декілька напрямків, а саме це 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. Але на сучасному рівні ми лише торкаємося переходу до мікрорівня та починаємо враховувати внутрішні властивості (фізико-механічні) рослинної сировини і в якомусь розумінні переходу до нелінійності роботи (унеможливлення нескінченного зберігання або нескінченного ущільнення).

На прикладі сучасної технічної системи кормозаготівлі спробуємо оцінити перспективи її розвинення та удосконалення користуючись технологічною схемою процесів заготівлі основних компонентів збалансованих раціонів для тваринницьких ферм молочного напрямку (рис. 1.4).

Таким чином, технічна система кормозаготівлі, до основних функцій якої відносяться заготівля кормів високої якості та максимального збереження поживних речовин в процесі зберігання, є складовою системи кормозабезпечення і являє собою сукупність окремих технічних об'єктів, які забезпечують послідовну та безперервну реалізацію необхідних технологічних операцій і процесів, спрямованих на трансформацію кормової сировини у повноцінні корми для сільськогосподарських тварин.

Несприятливі для зростання і розвитку сільськогосподарських, і особливо, трав'яних культур погодні умови часто не дозволяють отримати достатньої кількості рослинної маси для заготівлі запланованих обсягів кормів, тому необхідні заходи, в першу чергу, щодо підвищення технологічної дисципліни на всіх етапах робіт, застосування сучасних способів і засобів механізації заготівлі та зберігання кормів, що забезпечують істотне підвищення якості, зменшення втрат, зниження їх вартості.

Рекомендовані сільгоспвиробникам способи заготівлі кормів вимагають відповідного технічного забезпечення, що є передумовою для проведення кормозбиральних робіт в оптимальні агротехнічні терміни і з мінімальними втратами.

Аналіз кормозбиральних компаній минулих років показує, що терміни збиральних робіт перевищували оптимальні в два-три рази з низки причин, в тому числі недостатньою технічною оснащеністю галузі, морального старіння і фізичного зносу значної частини парку кормозбиральної техніки. У цій ситуації вирішальне значення набуває технічна оснащеність і готовність до роботи збиральних комплексів, чітка організація їх використання, оперативне маневрування усіма наявними ресурсами, висока дисципліна виконавців.

Технічна система кормозаготівлі включає певний набір технічних засобів та споруд (рис. 1.10).

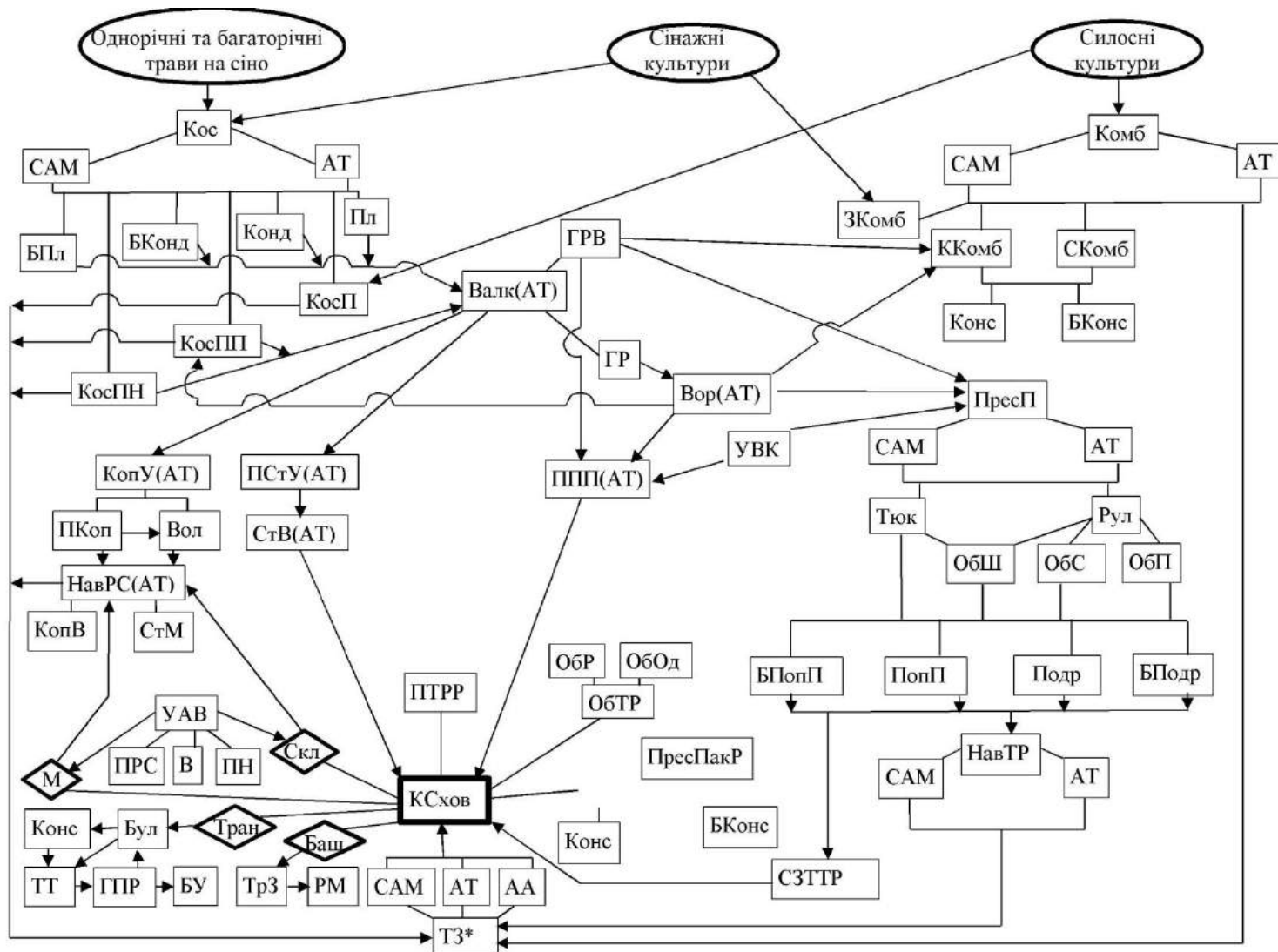


Рис. 1.10 – Технічна система кормозаготівлі

Скошування. Для косіння трав застосовують навісні і причіпні, тракторні, а також самохідні косарки з ротаційними або сегментно-пальцевими ріжучими апаратами. Для плющення трав, з метою прискорення процесу сушіння (пров'ялювання) косарки оснащені більно-дековими кондиціонерами або плющильними вальцями. Рекомендується застосовувати косарки з більно-дековими кондиціонерами для скошування тільки злакових трав і бобово-злакових травосумішей. Бобові слід скошувати тільки косарками з плющильними вальцями.

Найбільш широко для скошування трав застосовуються ротаційні косарки. Машина такого типу забезпечують косіння на великих поступальних швидкостях високоврожайних трав, а також травостоїв, що вилягли чи переплуталися. За даними випробувань, продуктивність ротаційних косарок на 20-30% вища, ніж продуктивність сегментно-пальцевих косарок зі зворотнопоступальним рухом ножів.

Барабанні косарки виготовляють CLAAS (Німеччина), SIP (Словенія), UNIA group, SaMAAZ (Польща). Ширина захвату їх становить від 1,35 до 3 м. Такі косарки ідеально підходять для роботи на перезволожених та заболочених ґрунтах.

Наразі є у продажу моделі російських та вітчизняних виробників з пасовим приводом робочих органів (КРВ-2,1А виробництва ВАТ «НОМЗ», м. Ніжин).

В Україні для скошування трав виготовляють ротаційні дискові косарки КРВ-2,15 (ВАТ «НОМЗ», м. Ніжин) та КН-2,1 ВАТ («Львівсільмаш»). Барабанна косарка КРВ-2,1 виробництва КБ «Бердянськсільмаш» випробувана в УкрНДПВТ у 2005 році та рекомендована серійного виробництва. Сегментно-пальцеві косарки КПО-2,1 випускає КБ «Бердянськсільмаш» та КПН-2,1 - ВАТ «Бердянський «Агротехсервіс». Ширина захвату цих косарок не перевищує 2,1 м. Із закордонних фірм сегментно-пальцеві косарки виготовляють фірма «New Holland», турецька фірма «Барам Тарім», Тульський завод

жаток та підприємства Республіки Білорусь. Слід відмітити, що в Україні відсутнє виробництво косарок - плющилок.

У технічну систему входять також косарки-підбирачі-навантажувачі, аналогічні моделі Е-062/1, що дозволяє скошувати природні трави і навантажувати скошену масу в транспортні засоби без подрібнення; косарки-підбирачі-подрібнювачі КУФ-1,8, MUFC 90 (MUFC, Китай), косарки - подрібнювачі, КИН-Ф-1500 «Полесьє-1500» (ВО «Гомсільмаш», Білорусь), КИК-1,4, КИР - 1,5, Які можуть використовуватися для збирання силосних культур.

Ворушіння. Під час заготівлі сіна й сінажу найчастіше використовують ротаційні ворушилки та валкоутворювачі з робочими елементами у формі пружинних зубів, закріплених на штангах. Ці машини виконують операції з ворущіння й розпушування скошених трав, перевертання та згрібання у валки.

Відомі зарубіжні фірми (Kuhn, Claas, Krone, Pottinger тощо) виготовляють широкий типорозмір навісних і причіпних машин для ворущіння та згрібання у валки пров'яленої маси трави чи сіна з шириною захвату в діапазоні: ворушилок - від 2,2 м (фірма SIP (Словенія) до 17,2 м (фірма Kuhn), валкоутворювачів - від 3 до 19 м.

Фірма Claas випускає 2 моделі чотирироторних, 4 двороторних і 2 однороторних валкоутворювачів та 4 моделі ворушилок. Фірма Krone виготовляє 5 моделей однороторних, 7 двороторних, 1 трироторну, 2 чотирироторних та 13 моделей ворушилок. Фірма Pottinger виробляє 10 моделей однороторних, 10 двороторних, 1 модель чотирироторну та 10 моделей ворушилок.

В Україні для згрібання та ворущіння сіна розроблені граблі універсальні роторні ГУР-4,2 (КП «Київтрактородеталь»), граблі-зворушувачі ГВ 3,4 (ВАТ «Ковельсільмаш»), граблі-зворушувачі ГР-Ф-3,6 (ВАТ «Новоград-Волинськсільмаш») та ГВ 00-000 (ВАТ «Львівсільмаш»). Ширина захвату машин вітчизняного виробництва становить 3,3-4,2 м.

Слід відмітити, що колісно-пальцеві валкоутворювачі з пасивним приводом робочих органів, за результатами досліджень, забруднюють рослинну масу ґрунтом, і в цілому така конструкція давно морально застаріла.

Підбирання. Для підбирання сіна з валків, утворення копиць і транспортування їх до місць скиртування, якщо сіно скиртують на полі або поблизу поля, призначені волокуші. Всі сучасні начіпні волокуші за будовою та роботою подібні. В господарствах використовують начіпну універсальну волокушу ВУ-400, начіпну волокушу-копицевіз ВУ-400Г (гірська модифікація), начіпну волокушу ВНШ-3, а також волокушу ВВ-0,4, призначену для перевезення сіна, вкладеного на вішала

Для підбирання валків прив'язаної трави і сіна вологістю до 30% та формування копиць циліндричної форми також використовують підбирач-копнувач ПК-1,6А - причіпну машину, яку агрегатують із тракторами класу 0,9 і 1,4.

Навантаження. Для укладання у транспортні засоби та скиртування подрібненого і неподрібненого сіна з копиць або поверхні поля використовують навантажувачі фронтальні типу ПС-0,5Б/0,8 (ПФ-0,5Б) виробництва ПАТ «Червона зірка», або навантажувачі-копицевози КУН-10 та КУН-08, навантажувачі-стогомети СНУ-550, виробництва ВАТ «Сальксельмаш», Росія, які всі агрегатуються з тракторами МТЗ.

Для підбирання валків сіна та укладання скирт також призначені підбирачі-скиртоукладачі, наприклад, СПТ-60, який агрегатують із тракторами Т-150К.

Для механізованого навантаження, транспортування та розвантаження стогів сіна до місць зберігання використовують причеп-стоговіз СП-60 або стоговіз СТП-2, які агрегатуються із тракторами МТЗ-80.

Ущільнення. Технологія заготівлі сіна та інших грубих кормів у пресованому вигляді посідає домінуюче місце у світовій практиці. Пресування кормів і формування на виході агрегату акуратних тюків (циліндричних або паралелепіпедних) здійснюється прес-підбирачами. Для заготівлі пресованих

кормів застосовують поршневі і рулонні прес-підбирачі для формування малогабаритних та великогабаритних тюків відповідно.

Ці машини є у «зеленій лінійці» багатьох виробників, насамперед таких відомих лідерів сільськогосподарського машинобудування, як New Holland, John Deere, Case, Krone, Welger, Claas, Deutz-Fahr, Massey Ferguson, Challenger, Feraboli, Laverda, Poettinger, Maschio Gaspardo, Sipma та ін..

За типом агрегування розрізняють причіпні, самохідні, навісні та напівнавісні прес-підбирачі.

Усі ці машини існують у кількох модифікаціях і обв'язують спресовану кормову сировину або шпагатом, або ж сіткою, а деякі навіть полімерною плівкою.

Технічною причиною багатьох прогресивних прес-підбирачів є наявність пристосувань для подрібнення, що дають змогу пресувати кормову сировину щільніше на 7-12%, а інколи і більше. Це дозволяє зменшити витрати обв'язувальних матеріалів.

Прес-підбирачі для формування малогабаритних тюків виготовляють фірми John Deere, Massey Ferguson (США), Unia group (Польща). Преси такого типорозміру знайшли широке застосування у малих та середніх господарствах.

Найбільш значного поширення дістала технологія заготівлі сіна в рулонах. Це пояснюється простотою конструкції рулонних прес-підбирачів і, відповідно, меншою їх вартістю порівняно з прес-підбирачами великогабаритних тюків. Тому така конструкція найбільш поширена серед фірм-виробників.

Рулонні прес-підбирачі розподіляються на преси з камерами постійного та змінного перерізу. За своєю конструкцією формуючі камери бувають вальцеві, ланцюгово - планчасті та пасові.

Прес-підбирачі з камерами змінного перерізу формують рулони діаметром від 0,8 до 1,8 м. Діаметр рулонів встановлюється залежно від типу заго-

товлюваного корму. Для заготівлі сінажу використовують рулони меншого діаметру, а для сіна - більшого.

Основна перевага рулонного преса - тривалість роботи циклу. У порівнянні з тюковим агрегатом рулонний прес-підбирач простий у використанні і обслуговуванні. Також цей механізм більш ремонтпридатний. Однак через циліндричну форму рулонів, прес-підбирач має істотний недолік - габаритний брикет. В результаті виникають труднощі при їх транспортуванні і навантаженні-розвантаженні. Тому з'являється необхідність у використанні додаткових механізмів.

Водночас дедалі більше користується попитом технологія із застосуванням прес-підбирачів великогабаритних тюків, які мають незаперечні переваги перед згаданими конструкціями машин. Провідні машинобудівні фірми світу (Claas, Krone, Massey Ferguson, Kuhn, New Holland тощо) пропонують більш ніж 40 моделей прес-підбирачів великогабаритних тюків.

Вони відрізняються між собою площею перерізу пресувальної камери, конструктивним виконанням робочих органів, наявністю подрібнювального механізму, кількістю вузлов'язальних апаратів тощо.

Головна перевага тюкового преса - можливість регулювати щільність тюка. При цьому, у порівнянні з рулонним агрегатом, сформовані тюки набагато менші. Це дозволяє розвантажувати тюки не тільки механізованим способом, але і вручну.

Також тюкові преси мають кращі експлуатаційні характеристики. Так, перевозити тюки прямокутної форми значно простіше в порівнянні з рулонами. В одному кузові можна розмістити прямокутних тюків в 1,2 рази більше, ніж рулонів. Крім того, їх простіше складувати в місцях зберігання. Вони навіть використовуються для тимчасового огороження худоби. Всі ці переваги забезпечують високий попит на тюкові преси-підбирачі. Вагомим недоліком цього агрегату вважається висока вартість.

В Україні з машин для заготівлі кормів в пресованому вигляді КП «Київтрактородеталь» виробляє рулонний прес-підбирач ППР-110. ВАТ «Ірпінь-

маш» освоїв виробництво рулонного прес-підбирача ПРП-750М, але він не виготовляється. ЗАТ «Волинська фондова компанія» налагоджує виробництво преса малогабаритних тюків ППТ-130, який пройшов державні випробування і рекомендований до постановки на виробництво.

Результати випробувань свідчать, що вітчизняний прес-підбирач ППР-110, ПРП-750 М за всіма показниками технічного рівня поступаються закордонним. Прес-підбирачі не обладнуються системою подрібнення, ширина захвату першого становить всього 1,25 м, його конструкція морально застаріла (прес виготовлявся понад 10 років).

Власне виробництво прес-підбирачів для формування великогабаритних тюків в Україні не налагоджене.

Навантаження та розвантаження. Навантаження та розвантаження тюків та рулонів, укладання тюків у штабель здійснюється за допомогою фронтальних або телескопічних навантажувачів.

При використанні фронтальних навантажувачів необхідно задіяти два агрегати — один при завантаженні соломистих матеріалів на транспортні засоби в полі, інший — при їх укладанні (штабелюванні) на зберігання. Або ж один — у полі при укладанні на транспортні засоби, а потім при укладанні на зберігання, але тоді зростає час на заготівлю.

Серед вітчизняних машин, призначених для роботи з ущільненою соломою у рулонах або тюках, пропонується навантажувач НТ-500, який використовується для перевантаження тюків діаметром від 1,2 до 1,8 м та масою до 500 кг. Агрегатується обладнання із трактором МТЗ-80 або іншими енергетичними засобами аналогічного класу, висота завантаження до 3,5 м.

Для завантаження та розвантаження сільськогосподарських культур, силосу, сипких матеріалів, тюків (рулонів) та іншого вантажу можливе використання фронтального навантажувача TUR-16. Він може бути встановлений на трактори потужністю від 80–120 к. с. Вантажопід'ємність становить 1650 кг, висота підйому вантажу — до 3,6 м.

Телескопічні навантажувачі іноземного виробництва, представлені найбільш поширеними моделями Merlo P34.7 Plus, Faresin Haulotte FH 6.28, Manitou MT1436R, Claas Ranger та ін., мають значні переваги перед вітчизняними аналогами за рахунок високої маневреності та висоти піднімання вантажу (близько 7–8 м).

Комбайнування. Потреба в консервованих кормах для ферм різного типорозміру змінюється у широких межах: від десятків до десятків тисяч тон. Відповідно, виходячи з агростроків заготівлі та технологічних вимог до процесу закладання кормів на зберігання, парк комбайнів повинен включати машини різних класів в залежності від продуктивності, а отже, і потужності приводу.

Кормозбиральні комбайни (самохідні, навісні та причіпні) мають змінні косарки для трав, кукурудзи та підбирачі валків, які за потребою монтують на подрібнювачі. Силосозбиральні комбайни (причіпні) обладнані змінними жатками для заготівлі силосу та підбирачами, які монтують на платформу силосної жатки.

Існує така закономірність: комбайни малого класу зі споживаною потужністю до 170 кВт - це переважно причіпні та навісні машини. Це комбайни, які агрегатуються з універсальними енергетичними засобами, такі як КПК-3000 зі складу комплексу К-Г-6 «Полісся», причіпний КДП-3000 виробництва ВАТ «Гомельсельмаш» (Білорусь) та ряд моделей фірм SIP (Словенія) і Kuhn (Франція).

Комбайни середнього та вищого класів з потужністю понад 170 кВт – це, в основному, самохідні машини.

У цілому кормозбиральні комбайни можна класифікувати за потужністю приводу. Виділяють комбайни малого класу - до 100 кВт; комбайни середнього класу - 100-200 кВт; енергонасичені комбайни класу - 200-300 кВт; комбайни надпотужного класу - 300-400 кВт і більше;

Сучасні комбайни мають низку нових систем та пристроїв, а саме до-подрібнювальний апарат для заготівлі кормів у пізній фазі стиглості кукуру-

дзи, пристрій для внесення консервантів, каменеметалодетектор, автоматичний заточувальний пристрій тощо.

До змінних робочих органів комбайнів відносяться:

- підбирачі для підбирання пров'ялених скошених трав під час заготівлі сінажу;
- жатки для скошування низькостеблових трав'яних культур безпосередньо для згодовування тваринам та заготівлі деяких інших видів корму;
- жатки для збирання високостеблових культур (кукурудзи, сорго тощо) під час заготівлі силосу.

Для заготівлі сінажу комбайни оснащуються підбирачами. Вони мають подібну конструкцію і складаються з механізму підбору, гвинта, механізму копіювання рельєфу поля та приводу.

Для заготівлі зернофуражу та безпосередньо для згодовування тваринам комбайни комплектуються жатками ротаційного та сегментно-пальцевого типів. Йдеться про комбайни заводів «Гомельсельмаш» та «Ростсельмаш».

В Україні виготовлялись комбайни малого класу КПИ-Ф-2,4А, КПИ-Ф-30 (ВАТ «Білоцерківсьсельмаш»), а також налагоджувалось виробництво самхідних комбайнів із двигуном потужністю 162 кВт ККЗ-150 «Олімп» (ВАТ «Олімп», м. Світловодськ Кіровоградської обл.) та КЗК-4,2 (ВАТ «Борекс», м. Бородянка Київської обл.). Всі ці комбайни пройшли випробування в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Комбайни енергонасиченого (200-300 кВт) та надпотужного класів (300-400 кВт) в Україні не випускалися. Останнім часом з різних причин виробництво кормозбиральних комбайнів в Україні, за винятком причіпного комбайна КРП-2,0 типу «Рось-2», призупинено.

Підбирання в причеп. Новою технологією, яка різко скорочує втрати кормів при їх заготівлі, є підбирання з валків і транспортування кормової маси причепами-підбирачами. Цей спосіб збирання є однією із самих економічних технологій силосування - сінажування. Причепи-підбирачі оснащені ріжучим апаратом з ножами, який якісно подрібнює зелену масу. З метою під-

бирання із валків і транспортування кормової маси, розподілення її по силосній ямі, а також в якості транспортних засобів при заготівлі кормів провідну роль відіграють машини, що випускають провідні фірми типу Claas, Krone, Bergmann, Pottinger тощо.

Найбільш широкий модельний ряд виготовляє фірма Krone - 14 моделей з об'ємом кузова від 33 до 54 м³, фірма Claas - 12 моделей з об'ємом кузова від 50 до 72 м³, фірма Bergmann - 4 моделі з об'ємом кузова від 56 до 70 м³, фірма Pottinger випускає 57 моделей для тракторів від 20 до 320 к.с. Для підбирання та заготівлі великих об'ємів і транспортування на великі відстані фірма Pottinger виробляє найбільший візок-підбирач з об'ємом кузова 100 м³.

Для рівномірного укладання кормової маси в траншеї при заготівлі сінажу причепи-підбирачі оснащуються серійно двома дозувальними вальцями з V-подібно розташованими пальцями, а на замовлення - трьома. Це забезпечує безперебійний потік кормової маси та швидке її розвантаження. Причепи обладнуються механізмом автоматичного відключення скребкового транспортера в кінцевому положенні при повному заповненні кузова.

Транспортування. Для транспортування скошеної маси до сховищ використовують бортові і самоскидні автомобілі, тракторні самоскидні причепи ПСЕ-12,5, ПСЕ-30, ПСЕ-40, 2ПТС-4-887А, ПТС-Ф-60 та ін. Для підвищення вантажопідйомності транспортних засобів нарощують висоту бортів на 0,8 — 1,0 м змінними решітками. Несамоскидні транспортні засоби забезпечують найпростішими пристроями для механізованого розвантаження корму.

Для транспортування тюків і рулонів можна використовувати автомобілі і тракторні причепи, а також транспортувальники тюків і рулонів, такі як ТПР-1 (Білорусь), ПРТ-12 (Росія), ТШН-2,5, ТШН-Ф-4, Sirma NP 1400 (Польща), але найбільш ефективним транспортним засобом для перевезень на відстань до 5-6 км є спеціальні тракторні транспортувальники з механізмами самозавантаження і розвантаження рулонів - ТП-10 (Білорусь), СТС-12, TRB (Росія), SMS SP V (Чехія) Sirma T-150 (Польща), QP-10 (Канада), та тю-

ків - SMS SP K31 (Чехія), Arcusin (Іспанія), Heath Superchaser (Великобританія).

Зберігання. Досушування та зберігання сіна здійснюють як на відкритих майданчиках, так і в сіносховищах сарайного або баштового типів.

Для досушування активним вентиляванням і подальшого зберігання сіна використовують сіносховища, побудовані за типовими проектами (817-140, 817-150, 801-306 та ін.), а також закриті сараї, навіси, горищні приміщення тваринницьких ферм і інші приміщення, в яких можуть бути змонтовані вентиляційні установки.

Баштові сіносховища можуть бути двох типів: з ґратчастими або перфорованими стінками і безстінні відкриті з підйомним дахом. У технологічний комплект обладнання ґратчастої або перфорованої башти входять пневматичний транспортер для завантаження маси, вентилятор для досушування сіна, стрічковий транспортер для подачі сіна на ферму. Башти мають пристосування для рівномірної укладання трави, механізмом формування вертикального повітряного каналу і вивантажувальним механізмом з колісно-пальцевими робочими органами.

Активне вентилявання. Для досушування сіна в скиртах і сховищах активним вентиляванням застосовують осьові і відцентрові вентилятори (типу ЦАГИ №8, № 10, №12, К-23 та ін.), а також вентиляційні установки (УВС-16, УВА-500, УВС-10М, УВИ-8, УВИ-13), установки для досушування сіна (УДС-300 та ін.).

Скирти розсипного або пресованого сіна для досушування укладають таким чином, щоб не було ущільнених місць, провалів, а також щілин для вільного виходу повітря. Активне вентилявання при досушування сіна дозволяє зменшити залежність збиральних робіт від несприятливих умов, скорочує механічні та біологічні втрати і покращує поживну цінність корму.

Повітророзподільні канали при досушуванні пресованого сіна в скиртах роблять з тюків, а при досушуванні розсипного або подрібненого сіна їх виготовляють з дощок, жердин, металу та інших підручних матеріалів.

Для підігріву повітря при досушування сіна застосовують підігрівачі повітря ВПТ-600, ВПТ-400, ТАУ-0,75 і ТАУ-1.5. При їх відсутності для підігріву повітря можуть також використовуватися теплогенератори типу ТГ або електричні калорифери серії СФОА.

Установки для активного вентилявання сіна складаються з вентилятора і повітророзподільної системи. Використовують наступні типи установок:

- установки з ґратчастою підлогою або бічними настилами, а також з бічними повітророзподільниками. Ними обладнують сховища для сіна, розташовуючи їх по всій площі;

- установки тільки з центральним повітропроводом і поперечними перетинами, що мають трапецієподібну, квадратну і трикутну форми. Для більш рівномірного розподілу тиску повітря по всій довжині канал роблять у вигляді конуса, тобто з більшою висотою у вентилятора, ніж в кінці. Такі повітророзподільні системи встановлюють у сховищах різних типів, а також на відкритих майданчиках при досушуванні сіна в скиртах. Наприклад, установки УВС-10М, УВС-16 (довжиною 10 і 16 м відповідно) можна протягом сезону використовувати кілька разів, витягуючи з висушеного сіна і встановлюючи в іншому місці;

- установки, що застосовуються в баштових сховищах. Повітророзподільник в них розташовується вертикально в центрі. Для подачі повітря у вентиляційні системи найчастіше використовують відцентрові (ВЦ-4-70 № 10 і ВЦ-4-70 № 12), а також осьові (ВО 6-290-11 і К-23) вентилятори. Повітря підігривають теплогенераторами, що працюють на рідкому паливі (ТГ-2,5), електрокалориферами (СФОЦ-60), теплообмінниками (КВБ-12). У теплообмінники вода температурою 50-60 °С надходить з котельні;

- установки для досушування сіна типу УДС-300, включають в себе вентилятор, спарений з електродвигуном, повітропровід і повітророзподільні труби, забезпечена електроповітропідігрівачем.

Сховища. Сховища силосу і сінажу підрозділяються на траншеї і башти. Побудова буртів і курганів не рекомендується через низьку збереженість

кормів в них. Для приготування та зберігання сінажу також використовуються сховища баштового типу. Траншеї для силосу і сінажу можуть бути наземні, напівзаглиблені (при заглибленні менше 1/2 висоти траншеї) і заглиблені (з висотою стін над рівнем землі 50-70 см).

Розрівнюють і трамбують масу з першого закладеного шару бульдозерами та гусеничними тракторами. При використанні бульдозера не тільки краще розрівнюється маса, а й підвищується продуктивність праці, сильніше ущільнюється маса. Поки шар подрібненої зеленої маси не перевищує висоти стіни споруди, її трамбують переважно в поздовжньому напрямку, особливо ретельно ущільнюючи її біля стін, щоб при зберіганні вона не дуже осідала, бо інакше біля стін утворюються щілини, куди потраплятимуть повітря і вода. Масу, укладену на 0,4 м вище стінок, трамбують і в поперечному напрямку. На кожні 200 - 300 т зеленої маси, що закладається щодня, потрібно 1 - 2 трактори з бульдозерними пристроями. Траншеї заповнюють вище країв на 1,5 м, ретельно трамбують і негайно накривають корм вручну повітронепроникною плівкою.

У башти зелену масу завантажують за допомогою двох-трьох окремих або об'єднаних в агрегат конвеєрів. На перший масу розвантажують з транспортних засобів, а з нього дозовано — на другий конвеєр, що подає масу безпосередньо в башту. Першим конвеєром часто ставлять кормороздавачі ПТУ-10, КТУ-10, платформу - живильник ПЕК-30. Їх заглиблюють у землю так, щоб можна було розвантажувати зелену масу безпосередньо з транспортних засобів. Кузов кормороздавача збільшують, встановлюючи на ньому бункер. Подається маса в башти конвеєрами ТПК-30, ТЕБ-30 (до 30 т/год.).

Під час завантаження башт висотою 10 - 12 м обов'язково ущільнюють масу. Башти з більшою висотою завантажують достатньо подрібненою масою без спеціального ущільнення. Незалежно від того, закладають масу у башти з ущільненням чи без нього, потрібно розрівнювати її по всій поверхні, щоб не утворювались порожнини, бо внаслідок нерівномірного тиску на стіни можливе перевертання башти.

Розрівнюють масу розподільниками типу РМБ-9,15 або розподільниками-розвантажувачами РРС-Ф-50-6 та іншими пристроями.

Герметизація. Сьогодні відомо і застосовується кілька різновидів технологій зберігання з використанням полімерних матеріалів: заготівля та зберігання в полімерній плівці кормів, запресованих в рулони, заготівля і зберігання в полімерних рукавах рулонів, заготівля і зберігання подрібнених кормів в полімерних рукавах.

Для обмотки тюків і рулонів розроблені машини як причіпні, так і напівнавісні до трактора для роботи в полі і на стаціонарі. Крім того, виготовляються і стаціонарні установки.

Якщо для герметизації рулонів корму випускаються прес-підбирачі-обмотувальники (моделі Comprima CF 155 XC і CV 150 XC від Krone, VBP 2160 і 2190 ValePack від Kuhn) то обмотувальники прямокутних тюків використовуються окремо з прес-підбирачами, що при неузгодженості в роботі тракторних пар з підбирачами і обмотувальниками може привести до втрат в поживності кормів.

Машини для обмотування кормових рулонів полімерною плівкою випускають Claas, John Deere, Krone, Бобруйскагромаш і «Селянський дім», Sipra.

Герметизація ряду (групи рулонів сінажу, розташованих в ряд) є економічною альтернативою обмотці одиночних рулонів. Даний механізм дозволяє упаковувати конвеєрним методом рулони трав'яної маси, упаковує їх в агростретч-плівку. Даний сегмент представлений машинами для упаковки великих тюків округлої або кубічної форми Stretch-O-Matic (Machinerie AM Inc., Канада), швидкісним пакувальником рулонів в лінію Neoliner NWX 660 і NWS 660 («Навігатор», Росія), а також пакувальником рулонів у полімерний рукав УПР-1 («Бобруйскагромаш», Білорусь).

Заготівля сінажної або силосної маси в великогабаритний полімерний рукав здійснюється спеціальним прес-пакувальником. Щільність маси в рукаві доводиться до 850 кг/м^3 при закладці силосу з кукурудзи і 650 кг/м^3 - сі-

нажу. Велике значення має вибір майданчика для складування рукавів. Вони повинні зберігатися в безпосередній близькості від місця споживання кормів. Потрібно, щоб майданчик мав тверде або вирівняне земляне покриття. Допускається також рівна дернова поверхня з невеликим ухилом. Для укладання одного рукава потрібна площадка не менше 80 х 6 м. Якщо є ухил, прес-пакувальник повинен рухатися тільки в напрямку підйому. Працювати вздовж схилу не рекомендується. Ось рукава потрібно орієнтувати у напрямку північ-південь, що дозволить уникнути перегріву окремих ділянок маси і міграції вологи. Рукави не слід укладати під лініями електропередач.

Одним з провідних виробників прес-пакувальників вважається AG BAG (лінійка AG BAGGER). Подібну техніку розробив і білоруський «Бобруйськагромаш» (УСМ-1). Великі сільгосп підприємства застосовують в основному самохідні силосні установки, середні і малі - установки з тракторним приводом.

Внесення консерванту. Вибір технічних засобів для внесення консервантів в кормову масу обумовлений технологією заготівлі.

Обприскування рослин на корені перед скошуванням - самий недосконалий спосіб, немає спеціальних машин і механізмів, що дозволяють дозовано розбризкувати консервант над травостоем, не вирішено питання про термін скошування трави після її обробки, а також про втрати консерванту в результаті попадання його на ґрунт і випаровування та забруднення ґрунту.

Консерванти у корми при скошуванні та подрібненні у різних країнах вносять за допомогою багатьох різних пристроїв, що встановлюються на кормозбиральних агрегатах. Наприклад, при внесенні рідких консервантів в кормову масу використовуються дозатори-аплікатори, такі як НР-7, НР-20 (Фінляндія), обладнання для кормозбиральних машин, зокрема вітчизняні УВК-Ф-1, АВК-Ф-2 (Білорусь) та ін. Однак експлуатація цих агрегатів ускладнює умови роботи механізатора, вимагає застосування індивідуальних засобів захисту в технологічному і технічному обслуговуванні. Крім того, втрати

рідкого консерванту за рахунок видування при цій схемі внесення перевищують 50%.

Устаткування ОВК-Ф-1 до пресу-підбирача ПРП-1,6 призначене для обробки при пресуванні пров'яленої рослинної маси, безпосередньо на техніці в момент її підбору з валка з наступним пресуванням в камері. Дана установка дуже громіздка і пристосована тільки для одного прес-підбирача.

Застосування відомих способів обробки кормів у сховищах істотно збільшує його вартість, капіталовкладення на додаткове обладнання. У разі використання сипких консервантів застосовуються навісні розподільники мінеральних добрив. Також може використовуватися обладнання штангових обприскувачів для рідких консервантів. При цьому поверхнєве обприскування не забезпечує рівномірності та повноти розподілу консерванту в масі корму.

Обробка рулонів перед закладанням на зберігання з використанням аміаку призвело до подорожчання собівартості корму, підвищеному ризику персоналу через високу токсичність до організмів так як він відноситься до групи речовин задушливої і нейротропної дії, здатних при інгаляційному ураженні викликати токсичний набряк легенів і важке ураження нервової системи. У зв'язку з цим довелося відмовитися від використання його.

Процес внесення консервантів шляхом вприскування (ін'єкції) крізь перфоровані голки безпосередньо у штабель, розміщеній в кузові автомобіля або причепа, та вивантаження обробленої масі в траншею також не забезпечує рівномірності розподілу консерванту в кормовій масі.

При аналізі основних технологічних схем внесення консервантів очевидні, перш за все, незначна кількість і мала різноманітність технічних засобів для їх реалізації, що свідчить про складність і невирішеність проблеми.

Таким чином, в зв'язку з тим, що вітчизняна промисловість не займається виготовленням деяких машин технологічних ланцюгів або їх виробництво з різних причин призупинене, технічна система кормозаготівлі в Україні представлена переважно закордонними технічними засобами, які характеризуються високою якістю і вартістю як самих машин, так і супутніх оборотних засобів, або фі-

зично та морально застарілою власною технікою. Вочевидь, якість, технічний рівень та надійність вітчизняної сільськогосподарської техніки були та є складною і хронічно болючою проблемою українських сільгоспвиробників тому, що затратна частина від використання ненадійної техніки істотно і негативно впливає на виробництво конкурентноздатної сільськогосподарської продукції.

1.4 Постановка проблеми та напрямків дослідження

Виробництво продукції тваринництва є чи не найважливішим завданням людства вже декілька століть. Крім того слід зауважити на той факт, що корми є сировиною для отримання продукції сільського господарства, адже завдяки сільськогосподарським тваринам відбувається біологічне виготовлення необхідної суспільству різноманітної продукції тваринництва. Багато хто вважає, що корми є кормовими ресурсами на одному рівні з сільськогосподарськими тваринами основними складовими елементами виробничого потенціалу тваринництва, та формування їх відбувається за рахунок виробничої діяльності галузі рослинництва, а також за рахунок виробничої діяльності галузі тваринництва і деякою мірою за рахунок спеціалізованої діяльності інших галузей народногосподарського комплексу країни [63].

Вид кормів, що заготовляється визначається в залежності від фізіологічних потреб (особливостей) відповідної групи тварин, технологій годівлі, економічної спроможності та рівня втрат сухих речовин. Можливі рівні втрат, характерні для різних технологій заготівлі трав'яних кормів. З цього випливає, що в організаційному плані весь процес заготівлі кормів треба побудувати так, щоб за рахунок гнучкого маневрування технологіями з урахуванням дозрівання травостою і погодних умов, кожен вид кормових культур збирався своєчасно, в залежності від їх скоростиглості і фаз вегетації. Вибір технологій - за керівниками і спеціалістами господарств, які, виходячи з реальних умов, заготовляють необхідні високоякісні корми.

Результати опитування керівників і фахівців сільгоспідприємств, які займаються заготівлею кормів по оцінці кормових технологій, проведеного ТОВ «Навігатор - Нове машинобудування», показали, що найбільш перспективним консервованим кормом є сінаж, особливо в упаковці, який поєднує в собі позитивні властивості сіна при високому рівні обмінної енергії, добре поїдається всіма жуйними тваринами без обмежень і наслідків, при рівні надоїв до 5000 кг молока на рік може бути єдиним кормом, має самі незначні втрати якості і кількості при закладці, зберіганні та годуванні (табл. 1.2) [64].

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз різних видів кормів
(по результатах опитування керівників і фахівців сільгоспідприємств)

Характеристика	Сіно (цільні рослини)	Пакований сінаж (цільні рослини)	Сінаж в траншеях (дрібний)	Силос (різного подрібнення)	Концентровані корми
Рівень загальної обмінної енергії в сухій речовині (СР)	Низький, менш ніж 9 МДж	Високий, більш ніж 10 МДж	Високий, більш ніж 9,8 МДж	Високий	Високий
Вміст протеїну в 1 кг СР	80-120 г	140-220 г	140-220 г	80-160 г	100-130 г
Максимальний річний надій при моно годівлі, кг	2500	5000	4500 + хворі тварини	4500 + хворі тварини	-
Стимуляція жуйного рефлексу у ВРХ	+	+	-	Впливає довжина різки	-
Подовження продуктивної тривалості життя	+	+	-	-	-
Вплив на відтворюваність	+	+	-	-	-
Вплив на здоров'я тварин	+	+	-	-	-
Строки заготівлі і закладення одиниці зберігання	3 дні	1 день	3-5 днів	3-5 днів	-
Сумарні втрати від скошування до згодування	50%	3-9%	25-30%	35-40%	-

При цьому необхідно зауважити, що ряд фахівців, в тому числі к.с.х.н. Гуляєв В. М., к.с.х.н. Коваленко Т.В., д.с-г.н. Ф. С. Хазіахметов, д.с-г.н. Кайдалов А.Ф., Орлянський Б.Ф. наголошують на доцільності використання сі-

нажу з цілих рослин для поліпшення роботи травної системи ВРХ. Справедливість цього зауваження побічно підтверджується провідними виробниками кормозаготівельної техніки, які оснащують кормозбиральні комбайни ріжучими механізмами прямої дії для приготування сінажу з цілих рослин та випускають прес-підбирачі, що не мають можливості подрібнення сінажної маси [65].

Деякі спеціалісти вважають, що при закладці вже подрібненої пров'яленої маси, значно зростають вимоги до умов зберігання сінажу, і доцільніше подрібнити сінаж безпосередньо перед приготуванням кормової суміші [66].

Сінаж є прекрасним видом зимового корму, в якому зберігаються протеїн, каротин та інші поживні речовини, що дозволяє до мінімуму скоротити високі витрати концентратів, неминучі при використанні силосу та сіна.

Проведений з метою вибору найбільш перспективних окремих сінажних культур аналіз енергетичної ефективності та поживності (табл. 1.3) дозволяє зробити висновок, що основним джерелом виробництва енергії й протеїну є бобові трави. Вміст обмінної енергії в 1 кг цієї групи рослин коливається від 3,6 до 4,47 МДж, а перетравного протеїну – від 27 г до 59 г. Найвищий вміст обмінної енергії міститься в 1 кг люцернового сінажу 4,47 МДж, він також посідає друге місце після сінажу з люпину за вмістом перетравного протеїну (46 г). Люцерновий сінаж також є лідером за вмістом кормових одиниць серед сінажів бобових трав, поступаючись злаковому сінажу.

Сінаж з суданської трави посідає перше місце за вмістом сирого жиру – 18 г, сінажі з люцерна та з еспарцету містять 14 г жиру, що є найвищим показником серед сінажів бобових трав. Сінаж з люпину містить найбільшу кількість сирогої клітковини в 1 кг – 204 г, а люцерновий сінаж має найвищий вміст без азотистих екстрактивних речовин – 243 г.

Таблиця 1.3 - Аналіз енергетичної ефективності та поживності сінажних культур

Сінаж	Вміст							Місце							
	КО, кг	ОЕ, МДж	СП, г	ПП, г	СЖ, г	СК, г	БЕР, г	КО, кг	ОЕ, МДж	СП, г	ПП, г	СЖ, г	СК, г	БЕР, г	Сума
Люпина	0,22	3,83	89	59	10	204	134	10	5	1	1	9	1	10	37
Люцерни	0,41	4,47	65	46	14	100	243	2	1	2	2	2	6	1	16
Буркуна	0,25	3,6	55	36	12	163	173	9	9	7	5	5	3	9	47
Еспарцета	0,36	3,7	56	37	14	89	219	4	7	6	4	2	10	3	36
Конюшини червона	0,35	3,64	62	38	12	99	202	6	8	4	3	5	7	5	38
Суданської трави	0,27	3,86	59	27	18,00	167	169	7	4	5	10	1	2	8	37
Вики+вівса	0,36	3,75	28	28	7	94	243	4	6	10	9	10	9	1	49
Злаковий	0,42	4,3	53	35	12	99	214	1	2	9	7	5	7	4	35
Бобово- злаковий	0,38	3,9	65	36	13	147	190	3	3	2	5	4	4	6	27
Злаково- бобовий	0,26	3,5	55	30	12	145	180	8	10	7	8	5	5	7	50

Таким чином, у підсумку, за сумою місць по всіх категоріях оцінки, лідером серед сінажних культур є люцерна.

Важливим показником якості кормових культур також є витрати сукупної енергії на їх вирощування та окупність витрат (коефіцієнт енергетичної-ефективності).

За витратами сукупної енергії (ГДж/га) виділяється група сінажних культур, під які згідно технології, необхідно вносити високі дози органічних і мінеральних добрив (злакові трави – 29 - 33; зернові - 22 - 26), що суттєво впливає на зростання енергетичних витрат при їх вирощуванні. Найменші ж витрати сукупної енергії припадають на бобові трав'яні культури, де домінують рослини-азотофіксатори.

Найбільш високі показники окупності 1 МДж затраченої енергії на вирощування культур також відзначені у бобових травах (4,32-5,62 МДж); далі йдуть просапні культури і злакові трави (2,67 - 3,29), а найнижчі показники у групі зернових та вико-вівсяної суміші (1,21 - 1,30) [67-70].

Таким чином, лідером серед сінажів за вмістом поживних речовин та енергетичною ефективністю є сінаж з бобових трав, зокрема люцерновий.

Технологічний процес заготівлі сінажу, як вже зазначалося, складається з наступних операцій: скошування трав і пров'ялювання маси у прокосах, обробітку трави у прокосах шляхом ворущіння і плющення, підбирання з валків з одночасним подрібненням, транспортування сінажної маси до сховищ; її ущільнення, внесення консервантів та ізоляція від доступу повітря (герметизація). Послідовність та набір операцій може відрізнятись в залежності від обраної технології заготівлі.

Основні втрати кількості і якості сінажної маси відбуваються: в полі при затиранні процесу підбирання; при завантаженні у транспортний засіб та перевезенні сінажної маси; при недостатньому ущільненні сінажу в траншеї; із-за неповної або неякісної герметизації; при виїмці корму.

Таким чином, одним з найбільш енергоємних і затратних процесів є підбирання та вивезення сінажної маси її ущільнення та герметизація, тому саме

тут існують великі ризики втрат якості кормів та коштів. Найпоширенішими є такі основні технології даних процесів:

- підбирання за допомогою силосозбирального комбайна і використання транспортних засобів для перевезення сінажної маси та подальшим ущільненням у траншейному сховищі з укриттям плівкою або ущільненням за технологією Ag-Bag (чи її аналогом) з упаковкою у рукав;

- підбір та транспортування за допомогою причепа-підбирача з аналогічним ущільненням та герметизацією у траншейному сховищі або за технологією Ag-Bag чи подібної;

- використання для підбирання, ущільнення та пакування рулонного прес-підбирача й обмотувальної машини разом із відповідною технікою для перевезення і складування рулонів.

З досвіду господарств, які використовують для підбирання сінажної маси сучасні кормозаготівельні комбайни, відомо, що продуктивність комбайна є найвищою і становить 750 т/день. Для причепа-підбирача об'ємом 45-50 м³ продуктивність по причині незначного (недостатнього) попереднього ущільнення на полі істотно коливається від 160-500 т/день в залежності від відстані до місця закладання сінажної маси. Продуктивність рулонного преса з обмотником становить 150-180 т/день.

Однак при цьому втрати листової маси, в якій міститься основна частка протеїну, при навантаженні і транспортуванні за допомогою комбайна і вантажівок досягають 10-20%. При використанні причепа-підбирача та прес-підбирача ці втрати мінімізовані.

Перевагою заготівлі сінажу традиційним способом, у траншеї, є можливість заготівлі великих обсягів сінажної маси та її висока щільність (до 800 кг/м³). Основними причинами втрати якості корму, заготовленого таким способом, є недотримання терміну закладання, нерівномірне ущільнення та розподілення консерванту, недостатня герметизація.

Швидке закладання та надійна герметизація є перевагами технології Ag-Bag. Однак слід зазначити, що дана технологія забезпечує щільність сі-

нажної маси нижчу за траншейну (до 600 кг/м³) і при великих розмірах полімерного рукава і відсутності регулювання щільності кормової маси в ньому з'являється велике число повітряних порожнеч з великим вмістом кисню, що призводить до втрат кількості та якості кормів. Крім того вона не рекомендується, якщо щоденний об'єм виїмки занадто малий (не перевищує 500 кг) або якщо в господарстві через нестачу площ немає придатних для розташування рукавів ділянок.

Технологія заготівлі сінажу за допомогою прес-підбирачів є найменш залежною від відстані до місця його закладання. Ущільнення та пакування сінажної маси у полі дає можливість компактного транспортування і наступного зберігання корму. Упаковані в плівку корми зручно зберігати в будь-якому місці навіть без укриття, постійна вага рулонів зручна при дозованому годуванні худоби.

При цьому рулонні прес-підбирачі на тлі найнижчої продуктивності забезпечують й найменшу з розглянутих щільність сінажної маси (до 400 кг/м³) та мають високі енерговитрати. Основними недоліками пресів з постійним об'ємом камери є неможливість змінити параметри рулону і його нерівномірну щільність. До недоліків прес-підбирачів з варіаційною камерою відноситься недовговічність ременів системи пресування. До того ж, при роботі з такими машинами необхідно, щоб ширина валка була рівномірною, інакше рулони виходять нерівні. Також існують певні проблеми щодо внесення консервантів при даній технології. Застосування рідких консервантів при заготівлі об'ємистих кормів в рулонах використовувалося у ряді зарубіжних країн, але не набуло широкого поширення із-за низки невирішених проблем. До них відносяться: відсутність простого і надійного пристрою для раціонального внесення консерванту, оптимального місця розташування дозуючого пристрою і препаратів, що мають мінімальну дію на вузли, деталі агрегатів і обслуговуючий персонал.

Однак збільшення обсягів виробництва суттєво не збільшуючи трудовитрат можливо в першу чергу за рахунок інтенсифікації виробництва про-

дукції тваринництва, яке неможливо без застосування сучасних технічних систем кормозаготівлі, які забезпечують належну якість кормів, що використовуються, підвищуючи тим самим належну продуктивність тварин. Виходячи з цього, можливо сформулювати **народногосподарську проблему**, яка обумовлює низьку техніко-економічну ефективність виконання технологічних операцій заготівлі кормів та недостатню якість отриманої кормової сировини. До її вирішення необхідно підходити комплексно, тобто враховувати увесь комплект заходів щодо збереження поживних речовин на всіх етапах від збирання до закладення на зберігання і герметизацію (рис. 1.11)

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.

Однак створення вдосконаленої технічної бази вимагає значних вдосконалень не тільки самої техніки, а і підходів до її створення. В першу чергу, технічне забезпечення кормозаготівлі повинно бути спрямовано на підвищення якості кормів, а саме на збереження тих поживних речовин, що рослина містить на етапі збирання та, по можливості, їх збільшення у процесі подальшої обробки. Окрім виконання основних завдань техніка для кормовиробництва повинна відповідати вимогам конкурентноспроможності на сучасному етапі.

1.5 Висновки по розділу

1. Аналіз сучасного стану молочного скотарства свідчить про суттєве зменшення поголів'я корів та середньорічних надоїв на тлі збільшення продуктивності корови. Наявність тенденції зниження поголів'я ВРХ призведе до збільшення споживчої потреби у продукції тваринництва, зокрема молочного скотарства, що призведе до зростання цін.

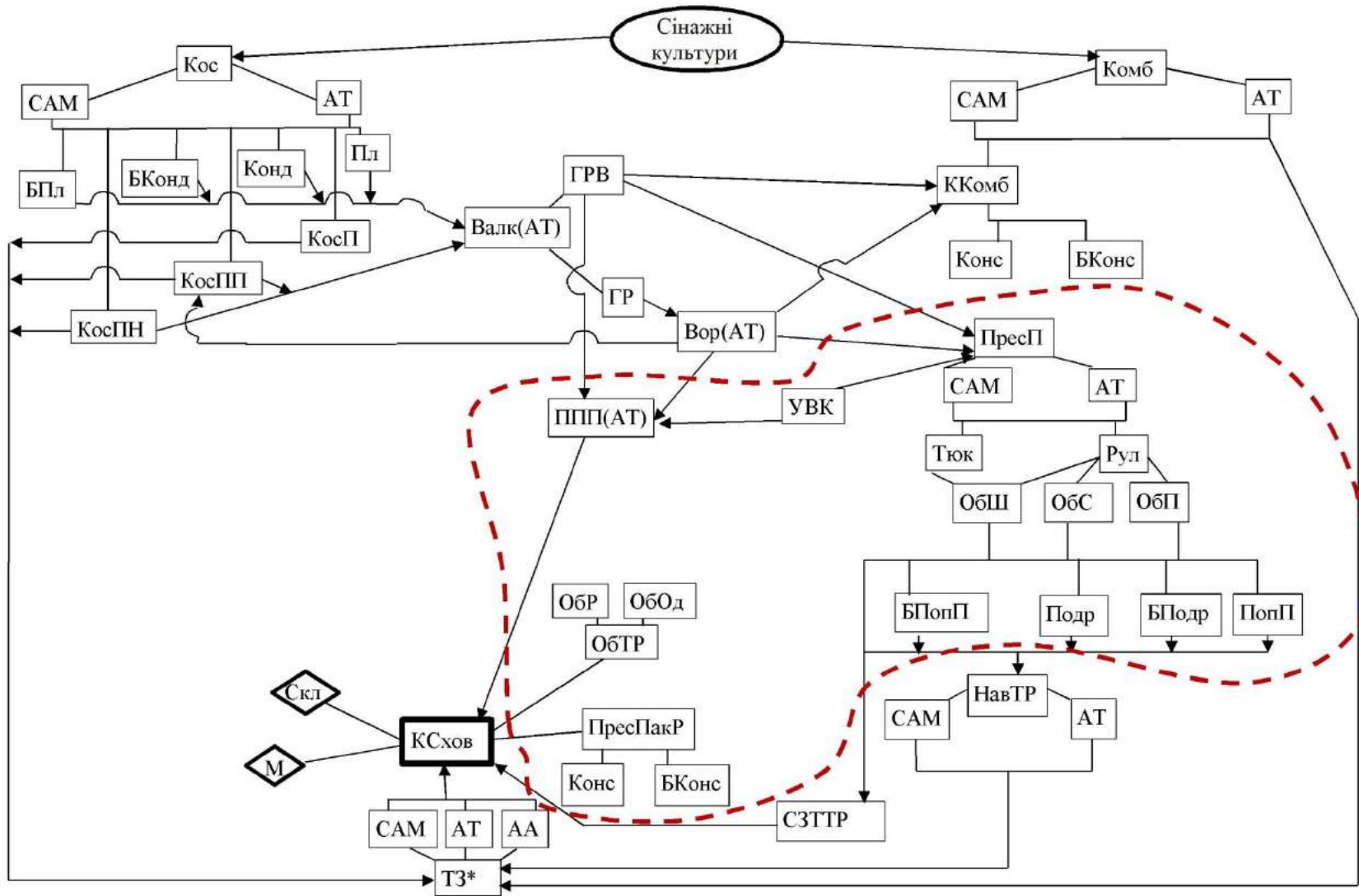


Рис. 1.11 – Технічна система заготівлі сінажа

Вирішення проблеми збільшення виробництва продукції тваринництва можливо за рахунок впровадження сучасних технологій та розробці засобів для їх реалізації.

2. Використання застарілих технологічних комплексів та обладнання для заготівлі та зберігання рослинної сировини призводить до втрат поживних речовин під час збирання, транспортування, закладення на зберігання та безпосередньо зберігання. Створення нових технологічних комплексів або комплектів машин, діючих за новою технологією, дозволить зменшити втрати поживних речовин вже на етапі збирання, підбору, транспортування та закладення на зберігання.

3. Застосування якісного сінажу з люцерни в раціонах ВРХ призводить до стабільних недоїв без перевитрат коштів, пов'язаних з неперетравністю надлишків поживних речовин. Отже, створення технічних засобів, які зменшують втрати поживних речовин при його заготівлі дозволять стабілізувати продуктивність тварин та зменшити собівартість молока.

4. Для виявлення напрямків 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.

5. 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.

Виходячи з наведеного можна сформулювати **мету та завдання дослідження**. Метою дослідження є зменшення виробничих витрат із покращенням якості консервованих кормів завдяки вдосконаленню технологічних

процесів та технічних засобів ущільнення і закладання рослинної сировини до полімерних сховищ.

Відповідно до поставленої мети для вирішення проблеми намічені такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану досліджень використання технологічних особливостей технічних засобів системи кормозаготівлі та їх взаємного функціонування;

- розробити методологічні принципи оцінки технологічних процесів системи кормозаготівлі на основі збереження поживних речовин в кормових матеріалах при виробництві продукції молочних ферм;

- розробити математичну модель ущільнення із структуруванням рослинної сировини і оцінити вплив конструктивних та режимних параметрів обладнання на якісні та енергетичні показники процесу;

- визначити фізико-механічні властивості рослинної сировини, які необхідні для теоретичного розрахунку параметрів і режимів роботи перспективних робочих органів машин для її заготівлі та закладання на зберігання;

- провести експериментальні дослідження технологічних процесів та складових елементів лінії ущільнення та пакування рослинної сировини на основі повнофакторного експерименту для підтвердження залежностей отриманих теоретичним шляхом;

- дослідити вплив конструктивних параметрів лінії двоступеневого ущільнення із структуруванням рослинної сировини та внесенням сипкого консерванту на показники збереженості рослинної сировини;

- визначити ефективність використання технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах;

- розробити технологічний регламент лінії ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням консерванту.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОРМОЗАГОТІВЛІ НА МОЛОЧНИХ ФЕРМАХ

2.1 Структурна модель технічної системи кормозаготівлі для виробництва продукції молочного скотарства

2.1.1 Обґрунтування енергозберігаючих технологічних процесів кормозаготівлі

Одним з найголовніших чинників розвитку галузі виробництва продукції тваринництва є вдосконалення кормової бази. Вдосконалення кормової бази проводиться у декількох напрямках, а саме через вдосконалення технічного та технологічного забезпечення виконання операцій збирання, заготівлі, зберігання та приготування кормів, за принципами енергозбереження, зменшення втрат кормів, зменшення втрат поживних речовин під час виконання технологічних операцій.

Основні принципи енергозбереження при проектуванні технологічних процесів кормозаготівлі створені в процесі складання раціонів, обґрунтування технологій, складу технологічних ліній заготівлі, приготування та зберігання кормів. За головну мету складання раціону ставлять забезпечення раціонального та повноцінного харчування тварин, при чому найбільша раціональна кількість продукції повинна бути отримана при оптимальних витратах енергії та трудових ресурсів.

Оптимізація раціону призводить до раціонального комплектуванню технологічних ліній кормо забезпечення. При цьому зменшення кількості машин значно економить енергетичні ресурси та знижує собівартість кормовиробництва при збереженні необхідної якості кормів.

При розгляді процесу виробництва кормів відбувається вплив на рослинний матеріал робочих органів машин, які входять до технологічних ліній. Зрозуміло, що робочі органи цих машин виконують одну або декілька послідовних операцій, причому практично вся енергія витрачається на зміну фізичних властивостей оброблюваного матеріалу. Відбувається перехід енергії від робочих органів до переробленого матеріалу. Іншими словами його оцінюють енергонасиченістю кінцевого продукту. Енергонасиченість виражають в одиницях питомої енергії (МДж/т; кВт/т). Цей показник вказує можливість матеріалу опиратися зовнішнім впливам з боку робочих органів машин.

Системний підхід до вирішення проблем кормозабезпечення був запропонований такими дослідниками, як А. О. Артюшин, 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. Кормщіков, 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. Рошчін, 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. [71].

Велика кількість досліджень вітчизняних та закордонних авторів присвячено удосконаленню енергетичної та економічної оцінок технологічних процесів у тваринництві. Найбільшого значення набули роботи таких вчених як Є. І. Базарова, М. В. Брагінця, М. І. Іскандаряна, Л. П. Карташова, А. А. Ківи, В. Г. Коби, М. В. Краснощекова, В. В. Лазовського, А. С. Міндріна, М. М. Морозова, Д. Н. Мурусідзе, Ю. Ф. Новікова, В. М. Рабштини, І. І. Свентицького, М. М. Севернева, Ю. А. Сімарєва, В. І. Солдовського, В. І. Сироватки, В. І. Сотнікова, Д. С. Стрєбкова, Ю. О. Широкова, А. В. Шпілько.

Розглядаючи системно проблеми процесів кормозаготівлі можна їх уявити у вигляді детермінованих системи із явною цільовою функцією, що в

свою чергу дозволяє оптимізувати режими роботи обладнання. Мінливість властивостей рослинної сировини під час заготівлі, приготування та зберігання призводить до зміни впливу оброблюваної сировини на робочі органи машин та обладнання. Це спричиняє, в свою чергу, нерівномірне завантаження складових технологічних ліній та комплексів. А надалі це призводить до зміни показників якості та зайвих енергетичних втрат.

Першочерговим завданням кормовиробників повинне бути відповідність кінцевих параметрів та властивостей готового корму зоотехнічним вимогам. Вони будуть характеризувати результат, отриманий після обробки рослинної сировини та буде оцінений комплексним показником якості. Регулюючі параметри задаються при конструюванні і під час роботи устаткування. Вони не змінюються на відміну від регулюючих дій, які підлягають регулюванню при налаштуванні устаткування. Очевидно, що регулюючі дії є змінними, що оптимізуються, а регулюючі параметри служать обмеженнями технологічного і технічного порядку [72].

У зв'язку з цим ми повинні комплексно підходити до вирішення проблем кормозаготівлі, при чому дослідження доцільно проводити за відповідними підсистемами. Зрозуміло, що на кожному етапі чи то заготівля, чи то приготування, чи то зберігання до кожної підсистеми будуть висуватися відповідні критерії оптимальності, які у кінцевому значенні забезпечать реалізацію концепції енергозбереження та зниження втрат поживних речовин, або взагалі витрат енергії на виробництво одиницю якісного корму, а в подальшому і продукції скотарства з виходом на зниження її собівартості.

У відповідності з принципом оптимальності Беллмана процес послідовно оптимізований, якщо рішення, які приймаються на його наступних етапах, складають оптимальну стратегію відносно вхідних даних, які потрапляють з попередніх етапів.

Схема, яка заснована на вище приведених принципах комплексного вирішення питань зниження втрат поживних речовин, витрат енергії та збільшення продуктивності тварин представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1 – Алгоритм реалізації методологічних основ вдосконалення технічної системи кормозаготівлі

Комплексне рішення відбувається на цілому ряді взаємозв'язаних рівнів енергозбереження та збереження поживних речовин від вибору раціону до приватних режимів функціонування окремих машин.

Завдання енергозбереження та збереження поживних речовин на кожному рівні формулюються таким чином, щоб вихідні результати кожного його рівня використовувалися як початкові дані для нижніх рівнів ієрархічних

сходів. При цьому відбувається складання ефектів енергозбереження усіх рівнів оптимізації.

Вхідними даними для першого рівня є: виробничі чинники Φ_{ni} ; кількість видів кормів N_{ki} , що виробляють в господарстві та придбаються додатково; концентрація енергії і поживних речовин X_{ki} в одиниці маси кожного корму і дані про хімічний склад грубих і соковитих кормів, які виробляють у господарстві (по аналізах лабораторії); добова потреба тварин в енергії, поживних і біологічно активних речовинах V_{ni} залежно від запланованої продуктивності, маси і фізіологічного стану. Додатково використовуються обмеження по структурі раціону, по загальній потребі в енергії і усіх нормованих елементах живлення та інші обмеження. Як критерій оптимізації використовується мінімум енерговитрат на виробництво кормів E_p . На виході першого рівня отримаємо види заготовлюваних та придбаних кормів $M_{k,opt,i}$, які є початковими даними для другого рівня оптимізації.

На третьому рівні обґрунтовується технологія і склад потокових технологічних ліній заготівлі, зберігання та приготування кормів по критеріях мінімуму енерговитрат $E_{n,k,s}$, витрат на приготування кормів $B_{n,k,s}$, витрат на виробництво однієї кормової одиниці $B_{k,од}$ та максимуму коефіцієнту збереженості поживних речовин $K_{з.н.}$. У разі, коли одна або декілька технологій забезпечують краще збереження поживності оброблюваної кормової сировини необхідно провести порівняння коефіцієнтів збереженості поживних речовин $K_{з.н.}$. На виході отримаємо необхідну кількість потокових технологічних ліній $N_{ПТЛopt,i}$.

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

На п'ятому рівні обґрунтовуються техніко-економічні показники технологічних процесів заготівлі, зберігання та приготування кормів по критері-

ях мінімуму собівартості продукції C_n , мінімуму коефіцієнту енергетичної ефективності η та максимуму продуктивності тварин $P_{\text{мол}}$. 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.

Цей метод вирішення завдань енергозбереження може бути застосований як на стадії розробки нових технологічних процесів і машин, так і безпосередньо у виробничих умовах.

2.1.2 Енергетична оцінка існуючих раціонів для сільськогосподарських тварин

Системи нормованого годування, які застосовуються у тваринництві, повинні забезпечувати високу продуктивність тварин при економній витраті кормових ресурсів. Для дотримання цього спрямування необхідно знати деякі речі:

- норми годівлі;
- тип годівлі;
- раціони та їх балансування;
- організацію годування тварин;
- контроль за повноцінністю готового раціону та економічність годування.

Потребу тварин у поживних речовинах вивчають в досліджах за визначенням балансу речовин і енергії або вмісту сухої речовини, а також при аналізі годування тварин в господарствах. Під нормою годівлі розуміють середню кількість поживних речовин в раціоні, необхідну для отримання від тварин відповідної продукції при оптимальному витрачанні кормів, при збереженні їх здоров'я і нормального відтворення.

При нормуванні годівлі визначають загальну потребу тварин в енергії і потраплянні з кормом необхідної кількості поживних речовин [73, 74]. До ос-

новних елементів раціону відносять сирий протеїн і амінокислоти, що містяться в ньому, сира клітковина, сирий жир, безазотисті екстрактивні речовини, мінеральні речовини (макро- і мікроелементи) і вітаміни. У деталізованих нормах кількість контрольованих показників потреби тварин збільшена до 22..30. Встановлена необхідність нормування цукрів для жуйних.

При складанні раціонів користуються нормами годівлі, даними про поживність кормів і їх співвідношення. При балансуванні раціонів слід враховувати усі умови, які можуть чинити позитивний або негативний вплив на засвоєння поживних речовин корму. Різноманітність кормів в раціонах, їх висока якість і відповідний хімічний склад є основними умовами підвищення повноцінності годування і поліпшення використання поживних речовин. При балансуванні раціонів вітаміномінеральними преміксами слід враховувати, що їх ефективність залежить від якості основних кормів і техніки згодовування балансуєчих домішок.

Необхідність переведення планування раціонів на якісно високий рівень обумовлена тим, що витрати на корми складають до 60 % загальної собівартості продукції тваринництва. А це означає великі витрати енергії при заготівлі, зберіганні, обробці і приготуванні кормів, і відповідні втрати її у разі їх неефективного використання. Крім того, одна і та ж тварина впродовж року в кожен наступний день має іншу потребу в різних складових раціону, ніж у попередній день [75].

Оптимальними називаються раціони, повністю збалансовані відносно енергетичного, протеїнового, макро-, мікроелементного і амінокислотного складу, що дозволяють досягти найвищого ефекту відповідно до прийнятого критерію оптимальності .

Критерієм оптимальності при складанні раціонів найчастіше служить мінімум вартості раціону або в кінцевому виразі мінімуму собівартості отриманої продукції при забезпеченості тварин усіма необхідними поживними речовинами. Проте собівартість виробництва кормів в господарствах непостійна внаслідок

док впливу коливань ринкових цін на її структурні складові, що не дозволяє виробити об'єктивну оцінку варіантів раціону.

Тому при складанні раціонів бажано застосовувати більш постійну величину, яка відбивала б основну мету - отримання більшої кількості продукції при оптимальних витратах енергії на приготування кормів. Таким чином об'єктивним критерієм оптимізації раціону може служити критерій мінімуму витрат енергії E_p на приготування необхідного раціону у вигляді [76]

$$E_p = \sum_{j=1}^{N_k} \left[\left(\frac{q_j}{u_j} + g_j \right) x_j \right] \rightarrow \min, \text{ МДж} \quad (2.1)$$

де q_j – питомі енерговитрати на виробництво j – го виду кормової сировини, МДж/га;

u_j – врожайність j – го виду кормової сировини, кг/га;

g_j – питомі енерговитрати на приготування j – го виду корму (кормової домішки), МДж/кг;

x_j – кількість j – го виду корму в раціоні, кг;

N_k – кількість компонентів раціону.

Виходячи з вищевикладеного, математичне завдання оптимізації раціону можна сформулювати таким чином: з вироблюваних в господарстві та придбаних кормів, і кормових домішок скласти раціон, який повністю задовольняє біологічним потребам тварини в поживних речовинах і енергії і забезпечує мінімум енерговитрат на його приготування. Рішення цієї задачі дозволить визначити, які корми, і в якій кількості необхідно давати тварині, а також кількість кормів, що необхідно придбати, і кормових домішок.

Отже оцінка кормової цінності може виконуватися за різними методиками, такими як вміст сухої речовини, вміст обмінної енергії, вміст основних поживних речовин та за методикою оцінки вмісту чистої енергії лактації. Для отримання високих надоїв дуже важливо, щоб тварина отримала всі необхідні складові для життєдіяльності, розвитку плоду та продукування молока.

Організм високопродуктивних корів в окремі періоди лактації працює на межі, а іноді й за межею своїх фізіологічних можливостей. Тому для збереження продуктивності таких тварин дуже важливою умовою при організації годівлі є нормування раціону. Високопродуктивні тварини чутливі як до нестачі, так і до надлишку енергії та інших елементів живлення, їх співвідношення в раціоні і умов використання, а тому дуже швидко реагують на це істотними змінами обмінних процесів і зниженням продуктивності. Ось чому ці біологічні особливості високопродуктивних молочних корів слід враховувати при нормуванні та організації їх годування [77].

Однак розрахувати кількість необхідних поживних речовин для тварини це тільки половина проблеми. Не менш значущою проблемою є приготування такої кормосуміші, яка б містила всі необхідні поживні речовини необхідного розміру і вологості та інші фізико-механічні властивості. Дуже важливим при вирішенні задачі складання оптимізованого раціону, який би повністю забезпечив тварину поживними речовинами, є створення такої моделі, що дозволила б максимально точно підібрати компоненти раціону, при чому не витрачаючи зайвих коштів.

Багато вчених досліджували проблеми підбору оптимальних складових раціону як в плані зниження його собівартості, так і збалансованості вмісту необхідних поживних речовин.

В 20-30 роках ХХ сторіччя питання про оцінку поживності кормів в СРСР розглядала комісія на чолі з професором Е.А. Богдановим. Основою для пропонованої одиниці поживності було вирішено узяти крохмальні еквіваленти, але для спрощення її дещо видозмінили, узявши за одиницю поживну цінність не 1 кг крохмалю, а 1 кг вівса, тому і назвали її вівсяний. Недоліки вівсяних кормових одиниць ті ж, що і у крохмальних еквівалентів: ця одиниця базується на продуктивній дії перетравних поживних речовин, але різні види тварин, по-різному перетравлюють корми та використовують поживні речовини.

Враховуючи недоліки вівсяних кормових одиниць, в 1963 році було запропоновано оцінювати поживність кормів за обмінною енергією - в енергетичних кормових одиницях (ЕКО). Обмінна енергія є частиною енергії раціону, яку тварина використовує для забезпечення своєї життєдіяльності і утворення продукції. Тому оцінка по обмінній енергії об'єктивно характеризує енергетичну поживність корму для тварини. За 1 ЕКО запропоновано 10 МДж обмінної енергії.

Оцінку поживності раціонів диференціюють по окремих елементах живлення, кількість яких постійно зростає по мірі поглиблення знань про фізіологічну роль поживних речовин в процесах обміну. У недавньому минулому потреба тварин визначалася за 6 елементами живлення: кормові одиниці, перетравний протеїн, кальцій, фосфор, кухонна сіль і каротин, але така оцінка не враховує необхідності балансування усього комплексу поживних, мінеральних, біологічно активних речовин.

Нові деталізовані норми годівлі враховують ширший комплекс незамінних чинників живлення. При цьому виходять з того, що для отримання високої продуктивності, забезпечення здоров'я і високих відтворювальних функцій тварин необхідно забезпечити усіма без виключення поживними речовинами, яких вони потребують, незалежно від того, у великих або малих дозах вони потрібні для організму. Виникла необхідність диференціювання окремих елементів живлення.

Сучасна комплексна оцінка поживності враховує вміст окремих елементів живлення та їх взаємний вплив та проводиться відповідно до прийнятих норм. У деталізованих нормах годівлі оцінюють енергетичну поживність за вмістом обмінної енергії, протеїнову - за сириєм, перетравним протеїном, вмістом амінокислот, вуглеводну - за кількістю крохмалю, цукру, клітковини, ліпідну - за вмістом жиру, мінеральну - за вмістом макро- і мікроелементів (кухонної солі, кальцію, фосфору, тощо), вітамінну - за вмістом каротину та вітамінів. Обов'язковий нормований показник - суха речовина [78].

Висока молочна продуктивність корів можлива тільки в умовах нормальної годівлі й необхідної концентрації обмінної енергії та поживних речовин у сухій речовині раціонів. Зокрема, за добових надоїв молока 40 кг поживність 1 кг сухої речовини раціону має рівнятися 11,2 МДж обмінної енергії.

Надходження фізіологічно корисної енергії з кормом визначається кількістю споживаної сухої речовини, концентрацією обмінної енергії в сухій речовині і рівнем годівлі. На кожні 100 кг живої маси високопродуктивні тварини здатні з'їдати до 4,5 кг сухої речовини. Надлишок сухої речовини може призводити до неповного поїдання кормів, зниження поживної цінності раціонів і зменшення надоїв. При низькому її рівні в раціоні досить важко створити необхідну концентрацію енергії і поживних речовин.

Особливістю харчування корів є дуже швидке збільшення потреби в протеїні, що не покривається тільки мікробним білком. Тривалий дефіцит протеїну в раціоні спричиняє значне зниження не тільки надоїв, але й зниження вмісту жиру і білка в молоці. Надлишок протеїну в раціонах не засвоюється організмом, що веде до здороження молока. Оптимальне співвідношення цукрів та перетравного протеїну в зимовий період в раціонах лактуючих корів змінюється в межах 0,8-1,0:1,2 [79].

Дефіцит клітковини в раціонах корів призводить до зниження жирності молока, а її надлишок - до зниження енергетичної поживності раціонів. При запланованому рівні годівлі загальна добова кількість сирової клітковини не повинна перевищувати фізіологічну норму – 5000 г.

За узагальненими даними потреба в жирі у корів становить 40-65% від жиру, що виділяється з молоком добового надою. Оптимальний вміст сирого жиру в раціонах корів має становити 3 - 4% від сухої речовини.

Нестача фосфору в організмі корів викликає явище м'язової слабкості та зниження продуктивності корів до 800 кг на рік. При нестачі кальцію в раціоні або порушенні регуляції кальцієвого обміну у корови спостерігається слабкість кістяка. Дефіцит каротину позначається, у першу чергу, на стані

репродуктивної функції високопродуктивних корів. Надлишок фосфору в раціоні корів не впливає на молочну продуктивність, але призводить до декальцинації кісток. Тому співвідношення кальцію до фосфору у високопродуктивних корів можуть становити 2,5-3:1. У раціоні може бути більше норми кальцію і каротину - це не шкідливо [79].

За вищевказаних особливостей та потреб визначимо оптимальний добовий кормовий раціон на стійловий період для високопродуктивних дійних корів масою 600 кг з добовим надоєм 40 кг та жирністю 4%. Для забезпечення такої продуктивності корів необхідно, щоб в раціоні містилася певна кількість необхідних поживних речовин (табл. 2.1) [79, 80].

Таблиця 2.1 - Норми годівлі дійних корів живою масою 600 кг з добовим надоєм 40 кг

Межі норми	Суша речовина, кг	Обмінна енергія, МДж	Перетравний протеїн, г	Сира клітковина, г	Крохмаль, г	Цукри, г	Сирий жир, г	Кухонна сіль, г	Кальцій, г	Фосфор, г	Каротин, мг
Min	27	296	3038	4480	5155	3010	792	190	190	130	1385
Max	28,2	320	3054	5000	6036	3325	1110	-	-	140	-

До раціону і відповідно до системи змінних включається сіно лучне (x_1), сінаж багаторічних трав (x_2), силос бобово-злаковий різнотравний (x_3), кормовий буряк (x_4) та концентровані корми (x_5), які використовуються у вигляді комбікормів-концентратів, а також кухонна сіль (x_6) та трав'яне борошно люцернове (x_7), поживність та вартість яких надана в таблиці 2.2 [79, 80].

В раціоні повинні враховуватися обмеження щодо використання певних видів кормів. Так, добова норма сіна високої якості в розрахунку на 100 кг живої маси тварини, повинна бути не менше 1 кг, силосу або сінажу - не більше 4 кг. Кормові буряки як молокогінний корм бажано давати корові в кількості 1 - 1,5 кг на кожний кілограм молока, але не більше 40 кг на добу. Норма включення комбікорму в раціон високопродуктивних корів коливається в межах 8-15 кг на голову на добу. Оптимальна ж норма трав'яного борошна коровам складає не більше 3 кг.

Таблиця 2.2 - Поживність та сукупні витрати енергії 1 кг кормів

Поживні речовини	Сіно лучне	Сінаж бага- торічних трав	Силос бобо- во-злакове	Кормовий бурак	Комбікорм	Кухонна сінь, г	Трав'яне бо- рошно лю- цернове
Суша речовина, кг	0,83	0,45	0,25	0,12	0,87	-	0,90
Обмінна енергія, МДж	6,95	4,90	1,80	1,60	10,50	-	8,60
Перетравний протеїн, г	57	38	16	9	130	-	119
Сира клітковина, г	233	146	93	13	55	-	211
Крохмаль, г	12,8	9,40	2,50	-	435	-	-
Цукри, г	28	12,10	3,30	76	35	-	40
Сирий жир, г	18	13	10	2	50	-	29
Кухонна сінь, г	-	-	-	-	-	1000	-
Кальцій, г	6,30	3,40	3,90	0,60	6	-	17,30
Фосфор, г	2,10	1,10	0,60	0,30	7,50	-	3
Каротин, мг	19	26	46	-	-	-	220
Сукупні витрати енергії, МДж	5,9	3,5	1,3	1,1	11,6	-	17,9

Таким чином виходячи з даних представлених табл. 2.2, система обмежень матиме вигляд [81, 82]:

I. За кількістю сухої речовини

1) сухої речовини не менше

$$0,83x_1 + 0,45x_2 + 0,25x_3 + 0,12x_4 + 0,87x_5 + 0,9x_7 \geq 27$$

2) сухої речовини не більше

$$0,83x_1 + 0,45x_2 + 0,25x_3 + 0,12x_4 + 0,87x_5 + 0,9x_7 \leq 28,2$$

II. За енергетичною поживністю

3) обмінної енергії не менше

$$6,95x_1 + 4,9x_2 + 1,8x_3 + 1,6x_4 + 10,5x_5 + 8,6x_7 \geq 296$$

4) обмінної енергії не більше

$$6,95x_1 + 4,9x_2 + 1,8x_3 + 1,6x_4 + 10,5x_5 + 8,6x_7 \leq 320$$

III. За протеїною поживністю

5) перетравного протеїну не менше

$$57x_1+38x_2+16x_3+9x_4+130x_5+119x_7\geq 3038$$

б) перетравного протеїну не більше

$$57x_1+38x_2+16x_3+9x_4+130x_5+119x_7\leq 3054$$

IV. За вуглеводною поживністю

7) сирій клітковини не менше

$$233x_1+146x_2+93x_3+13x_4+55x_5+211x_7\geq 4480$$

8) сирій клітковини не більше

$$233x_1+146x_2+93x_3+13x_4+55x_5+211x_7\leq 5000$$

9) крохмалю не менше

$$12,8x_1+9,4x_2+2,5x_3+435x_5\geq 5155$$

10) крохмалю не більше

$$12,8x_1+9,4x_2+2,5x_3+435x_5\leq 6136$$

11) цукрів не менше

$$28x_1+12,1x_2+3,3x_3+76x_4+35x_5+40x_7\geq 3010$$

12) цукрів не більше

$$28x_1+12,1x_2+3,3x_3+76x_4+35x_5+40x_7\leq 3325$$

V. За ліпідною поживністю

13) сирого жиру не менше

$$18x_1+13x_2+10x_3+2x_4+50x_5+29x_7\geq 792$$

14) сирого жиру не більше

$$18x_1+13x_2+10x_3+2x_4+50x_5+29x_7\leq 1110$$

VI. За мінеральною поживністю

15) кухонної солі не менше $x_6\geq 190$

16) кальцію не менше

$$6,3x_1+3,4x_2+3,9x_3+0,6x_4+6x_5+17,3x_7\geq 190$$

17) фосфору не менше

$$2,1x_1+1,1x_2+0,6x_3+0,3x_4+7,5x_5+3x_7\geq 130$$

18) фосфору не більше

$$2,1x_1+1,1x_2+0,6x_3+0,3x_4+7,5x_5+3x_7\leq 140$$

VII. За вітамінною поживністю

- 19) каротину не менше
 $19x_1+26x_2+46x_3+220x_7\geq 1385$

VIII. За кількістю окремих кормів в раціоні

- 20) сіна не менше $x_1\geq 6$
 21) силосу або сінажу не більше $x_3+x_4\leq 24$
 22) кормового буряку не більше $x_4\leq 40$
 23) комбікорму не менше $x_5\geq 8$
 24) комбікорму не більше $x_5\leq 15$
 25) трав'яного борошна не більше $x_7\leq 3$

Критерій оптимальності – мінімальні сукупні витрати енергії:

$$Z=5,9x_1+3,5x_2+1,3x_3+1,1x_4+11,6x_5+17,9x_7\rightarrow\min \quad (2.2)$$

За оптимальним планом у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 6 кг сіна, 6,8 кг сінажу, 9,8 кг силосу, 28,4 кг кормового буряку, 12,9 кг комбікорму, 60 г кухонної солі та 2,9 кг трав'яного борошна. При цьому кількість сухої речовини склала 27,8 кг, обмінної енергії - 299 Мдж, потреба в перетравному протеїні, цурках, каротині та кухонній солі задоволена по мінімуму, а забезпеченість раціону сировою клітковиною та фосфором сягнула максимальної межі, вміст крохмалю становив 5776 г, сирого жиру – 1081 г, кальцію – 244 г.

За такого складу кормів мінімальні витрати сукупної енергії, витраченої на приготування необхідного раціону, складуть 304 МДж на добу.

2.1.3 Енергетична оцінка та обґрунтування технологій заготівлі, зберігання та приготування рослинної сировини

Для аналізу енергетичної ефективності технології зберігання кормів слід визначити необхідну суму складових елементів питомих сукупних витрат, які можна виразити у відповідних одиницях

$$E = E_n + E_{жс} + E_m + E_c + E_{сх}, \quad (2.3)$$

де E_n – прямі та уречевлені витрати енергії палива, електричної та теплової енергії;

$E_{ж}$ – витрати енергії живої праці;

E_m – витрати енергії на виготовлення, ремонт та технічне обслуговування засобів механізації;

E_C – енергоємність виробничих приміщень, та споруд;

E_{cx} – енергоємність сховищ кормів;

Прямі та уречевлені витрати енергії палива, електричної та теплової енергії можна визначити за наступним виразом

$$E_n = \sum_{i=1}^{N_m} \left((a_{ni} + a'_{ni}) Q_{Ti} + k_B Q_{Ei} + Q_{ki} \right), \quad (2.4)$$

де a_{ni} – енерговміст палива, МДж/т;

a'_{ni} – енергетичний еквівалент палива, МДж/т;

Q_{ni} – витрати палива при виконанні i - тої технологічної операції, т/га;

Q_{Ei}, Q_{ki} – витрати електроенергії та теплоти, кВт·год/га та МДж/га;

k_B – коефіцієнти переводу кВт·год у МДж;

N_m – кількість технологічних операцій в даній технології.

Витрати енергії живої праці

$$E_{ж} = \sum_{i=1}^{N_m} \frac{(n_{ki} \alpha_{жi} + n'_{ki} \alpha'_{жi})}{W_{Ei}}, \quad (2.5)$$

де n_{ki}, n'_{ki} – кількість основних та допоміжних робітників різноманітної кваліфікації, виконуючих i – ту технологічну операцію, люд.;

$\alpha_{жi}, \alpha'_{жi}$ – відповідні енергетичні еквіваленти витрат живої праці, МДж/(люд.-·год);

W_{Ei} – експлуатаційна продуктивність комплексу або машини при виконанні i – тої технологічної операції, га/год.

Витрати енергії на виготовлення, ремонт та технічне обслуговування визначаються у залежності від наявності вихідних даних за виразами

$$E_M = \frac{\sum_{i=1}^{N_m} \left(\frac{\alpha_{T.M.i} \cdot m_{Ti}}{100} \cdot \frac{C_{A.T.i} + C_{P.T.i}}{T_{Ti}} + \frac{\alpha_{P.M.i} \cdot m_{Pi}}{100} \cdot \frac{C_{A.P.i} + C_{P.P.i}}{T_{Pi}} \right)}{W_{Ei}}, \quad (2.6)$$

де $\alpha_{T.M.i}$, $\alpha_{P.M.i}$ – енергоємність одиниці маси відповідно тягової та робочої машини при виконанні i -тої технологічної операції, МДж/т;

m_{Ti} , m_{Pi} – маси відповідно тягової та робочої машини, т;

$C_{A.T.i}$, $C_{A.P.i}$ – норми амортизаційних відрахувань відповідно тягової та робочої машини, %;

$C_{P.T.i}$, $C_{P.P.i}$ – норми відрахувань на ремонт та технічне обслуговування відповідно тягової та робочої машини, %;

T_{Ti} , T_{Pi} – річні завантаження відповідно тягової та робочої машини, год.;

Також можна визначити за виразом [83]

$$E_M = \sum_{i=1}^{Z_6} \frac{\alpha_{Bi} F_{Bi} C_{Bi}}{100 T_{Bi} W_{Ei}}, \quad (2.7)$$

де α_{Bi} – енергетичний еквівалент i – тої виробничої будівлі, приміщення, споруди, МДж/м²;

F_{Bi} – площа виробничих будівель, приміщень споруд для заготівлі та зберігання продукції, м²;

C_{Bi} – амортизаційні відрахування, %;

T_{Bi} – строк використання приміщень при працюючому обладнанні, год.;

Z_6 – кількість виробничих будівель, приміщень, споруд.

Витрати енергії на будівництво та експлуатацію складів, траншей для зберігання кормів визначають з урахуванням їх площі або місткості

$$E_{CK} = \sum_{i=1}^{W_{CK}} \frac{\alpha_{CKi} F_{CKi} C_{CKi}}{100 Q_{CKi}}, \quad (2.8)$$

де α_{CKi} – енергетичний еквівалент, МДж/м²;

F_{CKi} – площа складу, траншеї або місця для зберігання, м²;

C_{CKi} – амортизаційні відрахування, %;

Q_{CKi} – місткість складу, траншеї або сховища, т;

W_{CK} – кількість складів, траншей або сховищ.

Диференційну оцінку технологічних комплексів, машин або ліній можна проводити шляхом розрахунку коефіцієнта енергетичної ефективності η за наступними виразом

$$\eta = \frac{E \cdot ЧЕЛ_{рац} \cdot \rho}{BE \cdot N_{ПР}} \cdot \vartheta \cdot k_{зб.ПР} \cdot k_{рел.} \cdot w_{П} \cdot w_{ПР1} \cdot (1 - w_{BC}), \quad (2.9)$$

де $ЧЕЛ_{рац}$ – чиста енергія лактації прийнятого раціону, МДж;

ρ – щільність рослинної сировини після заготовки, т/м³;

BE – валова енергія кормової сировини, МДж/т;

$N_{ПР}$ – вміст поживної речовини в раціоні, т;

ϑ – ККД енергії молока;

$k_{зб.ПР}$ – коефіцієнт збереженості поживної речовини;

$k_{рел.}$ – коефіцієнт релаксації закладеної рослинної сировини;

$w_{П}$ – частка проектних витрат енергії у сукупних витратах;

$w_{ПР1}$ – частка одиниці поживної речовини в заданому раціоні;

w_{BC} – частка втрат рослинної сировини при заготівлі.

Значення енергетичних витрат по операціях та коефіцієнт енергетичної ефективності для найбільш розповсюджених технологічних ліній заготівлі сінажу представлені в табл. 2.3 та на рисунку 2.2 та відповідно.

Таблиця 2.3 – Показники енергетичної ефективності технологічних ліній заготівлі сінажу

Показник	Варіанти технологічних ліній заготівлі кормів				
	Комбайн+ траншея	Комбайн + Ag-Bag	Прес – підбирач	Причеп- підбирач+ траншея	Причеп – підбирач+ Ag-Bag
Сукупні витрати енергії, МДж/т	321,4	308,0	274,8	412,8	399,4
в тому числі:					
витрати енергії на підбір, ущільнення, внесення консерванту, МДж/т	146,0	132,6	107,4	69,5	56,0
Щільність закладеного сінажу, кг/м ³	700	600	400	700	600
Коефіцієнт енергетичної ефективності, кДж/м ³	0,2086	0,2210	0,2685	0,0992	0,0934

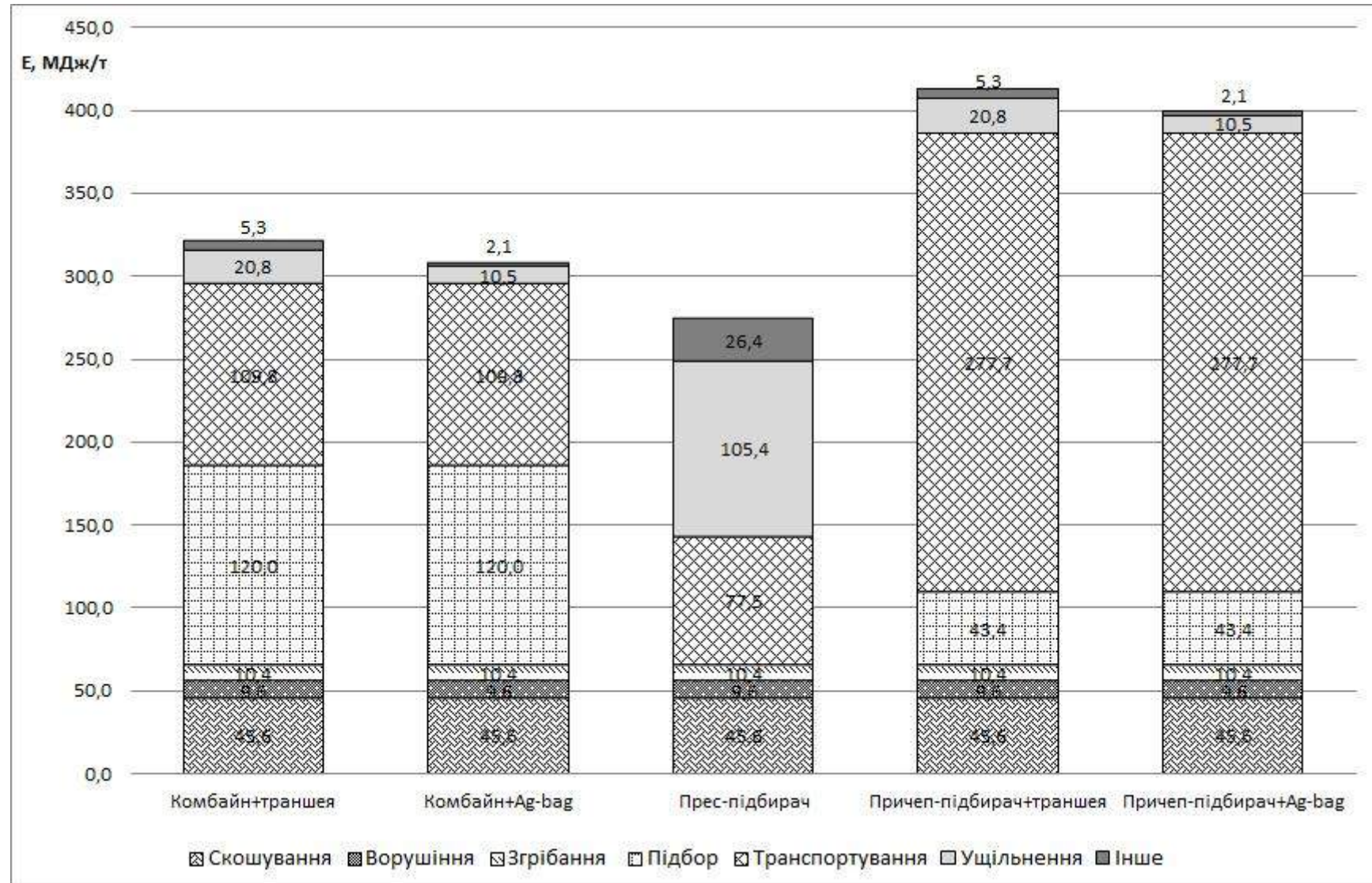


Рис. 2.2 – Оцінка енергетичної ефективності найпоширених технологічних ліній заготівлі сінажу

Розрахуни проводились спираючись на досвід десятків українських господарств, які використовують сучасні кормозаготівельні комбайни, продуктивність яких, становить близько 750 т/добу. Продуктивність рулонного преса - підбирача з обмотувальником становить 150-180 т/добу. Продуктивність даної машини жодним чином не залежить від відстані між полем та силосною ямою. Продуктивність причепа-підбирача прямо залежить від його об'єму та віддаленості поля від місця закладення. Для причепа-підбирача об'ємом 45-50 м³ сінажу продуктивність сягає 20 т/перевезення або 350-500 т/добу за умови, що поле розташоване не більш як за 2 - 3 км від місця закладання.

Виходячи з оцінки технологій за коефіцієнтом енергетичної ефективності перспективним напрямком зменшення енергетичних витрат є застосування причепів-підбирачів в комбінації з прес-пакувальниками у полімерні рукави Ag-Bag. Але дана технологія є найдорожчою за сукупними енергетичними витратами, за умовами її використання з транспортуванням на відстань більше 5 км. При цьому найменші питомі витрати енергії має технологія заготівлі сінажу з використаннями прес-підбирачів за рахунок низьких витрат на транспортування. Однак коефіцієнт енергетичної ефективності цієї технології є найбільшим з причини не високого ступеню ущільнення. Розроблення потокової технологічної лінії, яка б дозволяла забезпечувати ступінь ущільнення кормової сировини близький до рівня технології Ag-Bag та сукупними витратами енергії на підбір, близькими до причепів-підбирачів, і питомих витрат енергії відповідних до прес підбирачів дозволить підвищити енергетичну ефективність процесів заготівлі сінажу та зменшить собівартість продукції молочного скотарства.

2.1.4 Обґрунтування структури потокових технологічних ліній заготівлі консервованих кормів у полімерних сховищах

Розділення процесів у тваринництві ведеться на біологічні, технологічні. Транспортні, енергетичні, інформаційні. Основою сучасних методів організації залишається обов'язкова наявність потоку.

Зазвичай технологічна лінія має вигляд ланцюга, що складається з елементарних ланок, при чому кожна ланка має свій потік подачі та витрат.

Враховуючи той факт, що в галузі тваринництва технологічні лінії так чи інакше пов'язані із життєдіяльністю тварин, режим роботи технологічних ліній в тваринництві відрізняється значною нерівномірністю.

Поточна технологічна лінія на тваринницькому підприємстві призначена для забезпечення виконання поточного виробничого процесу з встановленими показниками ефективності використання обладнання та якості кінцевої продукції.

Участь тварин у процесі виробництва продукції тваринництва обумовлює вимогу до існування засобів для накопичення, тимчасових або стаціонарних сховищ. Саме ці засоби в певній мірі можуть згладжувати різницю в послідовно розміщених елементах лінії або комплексу.

Проаналізувавши структурні схеми технологічних процесів заготівлі та зберігання рослинної сировини слід зазначити доцільність застосування комбінованих машин або засобів, що поєднують у собі операції транспортування, попереднього ущільнення, внесення консерванту та герметичного закладання до сховищ. При чому бажано, щоб ці операції виконувалися якомога скоріше та з уникненням контакту рослинної сировини (в разі її подрібнення) з повітрям.

Побудову технологічного процесу починають із визначення складу та послідовності операцій, що входять до певних ліній або комплексів. Операції зображують у вигляді схеми (технологічної, конструктивно - технологічної та структурної).

Потокові технологічні лінії повинні відповідати наступним вимогам:

- здійснювати технологічний процес із найменшими витратами праці, енергії, засобів та часу;
- відповідати зоотехнічним вимогам по якості роботи та бути максимально надійними;
- задовольняти потребу усього поголів'я тварин на фермі.

Найбільший економічний ефект комплексна механізація забезпечує у тому випадку, якщо вона поєднується з поточковим методом організації робіт. При проектуванні поточкових ліній повинні витримуватись наступні вимоги: детальний розподіл процесу виробництва на операції, постійне закріплення окремих операцій за робочими місцями, спеціалізація устаткування, розташування його по ходу виробничого процесу, спеціалізація транспортних засобів, безперервність потоку в технологічно визначений час, синхронізація операцій.

Введення поточкових методів в тваринництві і пов'язана з ними спеціалізація ферм сприяє впровадженню більш досконалих технологій, техніка і організації праці, що забезпечує підвищення якості продукції, скорочення тривалості виробничого циклу, зниження собівартості.

Об'єктивна оцінка якості кормової сировини і кормів, технологій і устаткування для їх приготування дозволяє виявити резерви економії сукупної енергії і підвищення продуктивності тварин. Оскільки найбільша величина енергоспоживання приходить на приготування корму, дуже важливо, наприклад, збільшити долю грубих і соковитих кормів, зменшуючи долю концентрованих, оскільки виробництво грубих кормів за витратами сукупної енергії обходиться дешевше [72].

При обґрунтуванні технологічних схем і комплектів технічних засобів для заготівлі та зберігання кормової сировини нерідко виникають важкі оптимізаційні завдання, рішення яких можливе лише за допомогою економіко-математичних методів і сучасної обчислювальної техніки. Це обумовлено різноманіттям можливих технологічних схем підприємств із розвинутою кор-

мозаготівлею, що відрізняються потужністю та специфікою призначення і умовами функціонування.

Загальні підходи до вирішення таких завдань приведені в роботі [82]. Як обчислювальний алгоритм їх рішення запропонований метод гілок і обмежень, що вимагає певних навичок програмування на ЕОМ від особи, що приймає рішення.

Припустимо, що $1, \dots, k, \dots, K$ – послідовність (номерів) операцій, із безперервним або періодичним виконанням яких пов'язано функціонування запропонованого технологічного процесу. Кожна з цих операцій k може виконуватись одним з визначеної сукупності технологічних засобів (ТЗ) $U(k)$, $k=1 \dots K$. Вибір ТЗ для будь-якої операції k може бути обмежений вибором ТЗ для будь-якої іншої операції $l \neq k$. Ця умова може задаватися цілим набором множин

$$U(k, s, l), k = 1 \dots K - 1, s \in U(k), l > k, \quad (2.10)$$

де $U(k, s, l)$ – сукупність ТЗ з $U(l)$, якими можна виконати операцію l , якщо на операції k обраний ТЗ s з множини $U(k)$.

Кожен ТЗ $s \in U(k)$ зазвичай характеризується продуктивністю $Q_k(s)$ виконання операції k , $k=1 \dots K$.

Для кожного s виконання операції k можуть бути задані показники якості $P_{lk}(s)$ виду $l=1 \dots L$. Необхідність у такого роду показниках може виникнути при формулюванні різноманітних вимог до комплектів технологічних засобів (КТЗ), наприклад надійність, металоємність, забезпечення різних умов часу та таке інше.

Під моделлю технологічного процесу розуміється сукупність взаємопов'язаних КТЗ виконання усіх операцій заданого процесу, за допомогою кожного з яких реалізується певна технологічна схема на відповідному устаткуванні. Формально будь-який КТЗ задається вектором

$$u = (u_1, \dots, u_k, \dots, u_K), \quad (2.11)$$

де u_k - номер ТЗ із множини $U(k)$, обраний для виконання операції k , $k=1 \dots K$.

Завдання обґрунтування оптимального комплексу машин складається у виборі вектору $u^*=(u_1, \dots, u_k^*, \dots, u_K^*)$, що мінімізує по $u \in U = \{u=(u_1, \dots, u_K) : u_k \in U(k), k=1 \dots K\}$ функцію цілі

$$P_1(u) = \sum_{k=1}^K P_{1k}(u_k) \rightarrow \min, \quad (2.11)$$

При наступних умовах:

$$A_k \leq Q_k(u_k) \leq B_k, \quad k=1 \dots K; \quad (2.12)$$

$$a_1(k,l)Q_k(u_k) \leq a_2(k,l)Q_l(u_l), \quad (k,l) \in W; \quad (2.13)$$

$$u_k \in \bigcap_{l=1}^{k-1} U(l, u_l, k), \quad k = 2 \dots K; \quad (2.14)$$

$$\sum_{k=1}^K P_{lk}(u_k) \leq P_l, \quad l=2 \dots L. \quad (2.15)$$

Опис моделі заданого технологічного процесу може проводитись з різною мірою деталізації у визначенні операцій $1 \dots K$. Операцією в цій моделі може вважатися як елементарна технологічна операція (наприклад, завантаження сінажу), так і ціла технологічна лінія, блок і таке інше.

Технічний спосіб виконання операції є або окремою машиною (за допомогою якої операція може бути виконана), або агрегатом або набором машин конструктивно і технологічно пов'язаних між собою.

Модель описує технологічні процеси продуктивністю в межах від A до B (т/год). Для кожної операції $k = 1 \dots K$ розраховуються величини A_k, B_k при обмеженні припустимих значень для продуктивності ТЗ.

Умови (2.13) узгодження по продуктивності, в яких величини $a_1(k,l), a_2(k,l)$ вважаються позитивними, виражають для будь-якої пари операцій $(k, l), k, l \in W$ вимогу узгодження за продуктивністю вибраних для них технічних засобів u_k, u_l , що необхідно для уникнення їх непрохідності або неповного використання. Сукупність пар операцій $(k, l) \in W$, на які слід накладати такі обмеження, визначається на основі функціональних зв'язків між операціями в цій технологічній схемі.

Іноді при оптимізації ліній закладання на зберігання багатокомпонентних кормів виникає необхідність в забезпеченні узгодження за продуктивністю іншого вигляду

$$Q_k(u_k) \geq \sum_{l \in W(k)} a_l Q_l(u_l). \quad (2.16)$$

Такі умови легко враховуються у вигляді обмежень (2.15).

Часто з причин конструктивного або технологічного характеру деякі комбінації технічних засобів для різних операцій неможливо використовувати в одній технологічній лінії. Такі вимоги називаються структурними обмеженнями. Вони враховуються умовами (2.14).

В деяких випадках вдаються до штучних прийомів застосування фіктивних ТЗ. Так для кожної операції k , яка хоч би при одній технології не виконується, вводиться в сукупність $U(k)$ фіктивний спосіб, техніко-економічні показники якого дорівнюють нулю і призначення його на цю операцію показує, що вона фактично не виконується.

Якщо показники деякого технічного засобу залежать від того, в якій технологічній схемі воно використовується, то для відповідної операції вводяться способи її виконання, що розрізняються значеннями цих показників.

При проектуванні технологічних процесів необхідно враховувати тип виробничих будівель, в яких передбачається розміщення обраного устаткування. Якщо тип будівлі заданий, то в перелік $U(k)$ для кожної операції вводяться лише ті машини, які конструктивно можуть бути використані в таких будівлях. Якщо ж є можливість вибору типу будівлі, то в модель слід ввести операцію "тип будівлі" і перелік $U(k)$ для неї скласти із заданих проектів будівель з відповідними техніко-економічними характеристиками. Неможливість використання тієї або іншої машини в будівлях деякого типу може бути вказана за допомогою множин $U(k, s, l)$.

Основна вихідна інформація включає наступні види даних

- пронумерований перелік даних операцій і засобів механізації для кожної з них;

- масив величин $P_{CK}(s) (c = \overline{1, C}, k = \overline{1, K}, s \in U(k))$, представлений певного виду матрицею;
- перелік множин $U(k, s, I)$, відмінної від $U(I)$.

Засоби механізації краще підбирати таким чином, щоб вони, по-перше, забезпечували необхідну для цього типорозміру ферми продуктивність ліній та, по-друге, в будь-якій комбінації свідомо задовольняли умовам узгодженості за продуктивністю $Q_k(u_k) \geq Q_{k-1}(u_{k-1})$ при $p_k=0, k=1 \dots K$, так що немає необхідності в їх додатковій перевірці. Це спрощує складання чисельної математичної моделі. Якщо ж необхідно перевіряти цю умову, то в початковій інформації до матриці показників слід додати стовпець продуктивностей $Q_{CK}(s)$, тоді як в моделі ввести відповідні обмеження.

Поставлене завдання вирішується на ЕОМ із використанням стандартних програм в середовищі Excel. Введення цільової функції, додаткових обмежень (наприклад, по витраті електроенергії, потоку відмов, металоємності), вимоги цілочисельності шуканого рішення не мають ніяких особливостей.

Основна трудність виникає при введенні обмежень, що відбивають структурні зв'язки між способами виконання технологічних операцій і необхідність вибору тільки одного з можливих на цій операції. При рішенні задачі вважаємо, що змінна може прийняти тільки одне з двох можливих значень - "0" або "1". Якщо в результаті рішення значення змінної дорівнюватиме одиниці, то це означає, що відповідна технологічна операція виконуватиметься цим способом. Така умова для будь-якої технологічної операції записується у вигляді

$$X_i - + X_{i+1} + \dots + X_{i+n} = 1 \quad (2.17)$$

Якісні показники роботи технологічної лінії, а відповідно і якість отримуваної продукції залежить від часу безвідмовної роботи агрегатів, оскільки відбувається розлад робочих органів. Припустимо, що вірогідність виникнення відмови при закладанні на зберігання 1 т продукції пропорційна часу, що витрачається на її закладання.

З фізичної точки зору це припущення виправдовується тим, що за інших рівних умов збільшення часу на закладання корму на зберігання немичуче пов'язане із збільшенням за цей період вірогідності поламки робочих органів, виникнення засмічення, відмови контактів і таке інше.

Проаналізувавши існуючі технологічні лінії можна зробити висновок, що оптимальним поєднанням машин в технологічній лінії закладання рослинної (кормової) сировини на зберігання є наступне: мобільний бункер із можливістю попереднього ущільнення → двогвинтовий ущільнювач з можливістю ущільнення рослинної сировини методом скручування → дозатор консерванту [83-86]. При цьому в залежності від технології після пакування ущільненої рослинної сировини маса може подаватися як у змішувач для додавання необхідних компонентів раціону так і на зберігання до виникнення потреби.

2.1.5 Обґрунтування технологічної схеми обладнання для заготівлі рослинної сировини у полімерних сховищах

Існуючі способи заготівлі рослинної сировини передбачають велику різноманітність варіантів технічного забезпечення процесу. До них відносяться заготівля сіна і сінажу в рулонах з наступною герметизацією полімерною плівкою, як з використанням інертних газів так і без, як із застосуванням рідких так і сипких консервантів і багато інших. Також слід зазначити велику різноманітність представлених виробників техніки, що забезпечують ці процеси це такі фірми як KRONE, SILOMIX, TRIOLET, AG - BAG, John Deere, Claas, Rivierre, Welger та інші, причому підібрати машину для кожної технологічної операції не представляє особливої складності. Основною проблемою на цьому етапі представляється якраз підбір машин для технологічної лінії із загальним зниженням енергоємності або створенням машин, яка об'єднала б в собі виконання декількох технологічних операцій.

На сучасному етапі, з появою нових матеріалів і технологій їх виробництва, все більше можна спостерігати впровадження цих матеріалів в галузі сільського господарства і кормоприготування зокрема. У раніше проведених

аналітичних дослідженнях була доведена доцільність використання циліндричних тимчасових сховищ з полімерних матеріалів без доступу кисню [87-92]. Проте схема запропонована авторами може мати більший ефект у разі заміни кривошипний - шатунового механізму приводу пресу рослинної маси на гвинтовий, і установкою конусного ущільнювача з можливістю внесення консерванту в процесі ущільнення скручуванням. Також відомі результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень ущільнення і упаковки солом'яних матеріалів поршневым ущільнювачем, що проводив Голуб Г. А. [93]. В результаті яких стало відомо, що при зміні початкової щільності вологих солом'яних матеріалів модуль пружності має експоненціальну залежність і змінюється в межах від 8 до 420 кПа.

Враховуючи вищенаведене слід зазначити, що заміна пресуючого органу є тільки першою стадією удосконалення запропонованої схеми [90]. Також слід відмітити той факт, що для забезпечення якомога меншого контакту рослинної сировини з киснем є декілька способів. У випадку із вже подрібненою, до зоотехнічних вимог, рослинною сировиною слід використовувати попереднє ущільнення при транспортуванні з місця збирання до місць закладання на зберігання. Для цього можна використовувати бункери з віброущільненням [89], з герметичним завантаженням в ущільнювач - пакувальник. При закладці рослинної сировини в неподрібненому вигляді необхідно забезпечити або до подрібнення на стадії подачі в гвинтовий ущільнювач, або перетирання - плющення, що забезпечить кращий контакт сировини з консервуючими агентами. Герметичність безпосередньо при ущільненні і пакуванні в полімерні тимчасові сховища, в свою чергу дозволить уникнути окислення рослинної сировини і відповідно підвищити його збереження. Враховуючи той факт, що модуль пружності при зміні щільності рослинного матеріалу зростає, використання в другій фазі ущільнення скручуванням дозволить перерозподілити напругу в кормовому моноліті і уникнути наступного ефекту релаксації. Для забезпечення кращого збереження кормової сировини над робочою камерою (рис. 2.2) встановлений дозатор сипкого консерванту [89]. У загальному ви-

гляді конструктивно - технологічна схема складатиметься з наступних компонентів бункера 1, виконаного з можливістю попереднього пресування рослинного матеріалу поршневым ущільнювачем 3 (або мобільного з можливістю оперативного приєднання, або стаціонарного).

Після виконання операції попереднього пресування маса потрапляє в область дії гвинтового ущільнювача 2, який приводиться в дію двигуном 4. В процесі ущільнення скручуванням, рослинна маса проходячи через дифузор 8 насичується консервантом, який подається з дозатора 5, що приводиться двигуном 6. Далі ущільнена, і насичена консервантом рослинна маса поступає в тимчасове сховище, де герметично упаковується.

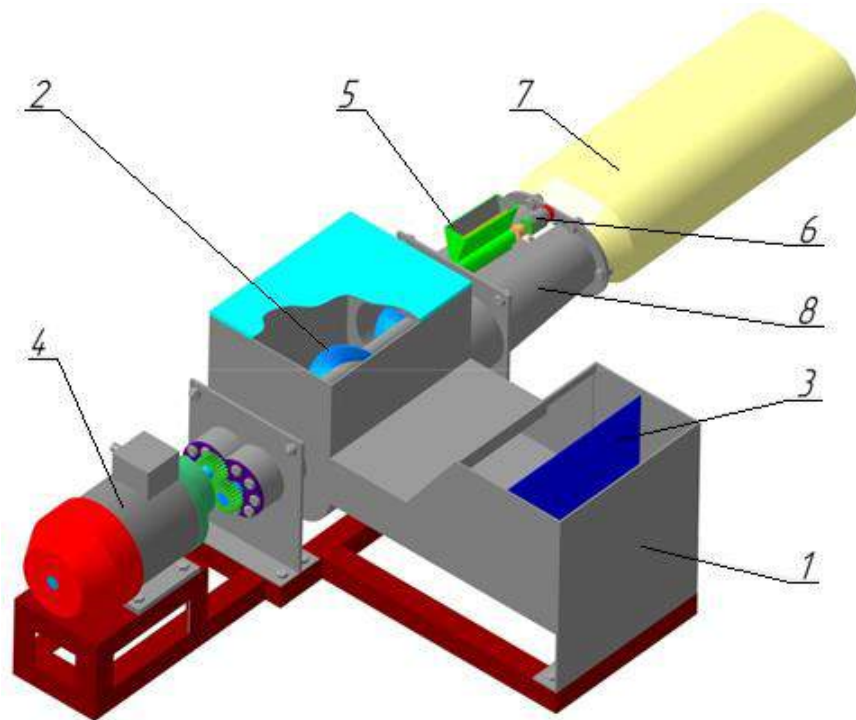


Рис. 2.2 - Конструктивно - технологічна схема устаткування для заготівлі рослинної сировини в полімерні сховища: 1 - бункер для завантаження і попереднього пресування рослинної сировини; 2 - гвинти для вторинного ущільнення; 3 - поршневий ущільнювач; 4 - привід гвинтового ущільнювача; 5 - дозатор для внесення сипкого консерванту; 6 - привід дозатора сипкого консерванту; 7 - тимчасове сховище; 8 - дифузор.

Враховуючи особливості конструкції запропонованої схеми слід зазначити, що багато питань стосовно режимних параметрів устаткування залишаються відкритими і підлягають детальнішому теоретичному обґрунтуванню.

ню. Також для підтвердження гіпотези про поліпшення якості рослинного матеріалу в процесі зберігання слід провести необхідні експериментальні дослідження. Проте залишається очевидним той факт, що поєднання технологічних операцій пресування, внесення консерванту і завантаження до тимчасових полімерних сховищ є перспективним напрямком в зниженні енергоємності процесу заготівлі і зберігання рослинної сировини [94-97].

2.2 Модель конверсії корму у продукцію молочного скотарства

На сучасному етапі виробництво продукції тваринницького походження набуло дуже актуального характеру. Це пов'язано не тільки із необхідністю збільшення обсягів виробництва продукції тваринництва, а також із підвищенням якості виробленої продукції. Враховуючи тенденцію закупівель закордонних напівфабрикатів, які дозволяють отримувати надприбутки підприємствам України та виробляти практично усі види молочної продукції без цільного молока. Зрозуміло, що собівартість таких молочних продуктів буде значно нижче ніж вироблених традиційно, однак необхідно пам'ятати про те, що молоко є одним з найважливіших продуктів.

Цінність молока за хімічною та біологічною цінністю переважає усі інші продукти, які зустрічаються у природі. За сучасними науковими даними молоко містить у собі понад двісті цінніших компонентів: двадцять амінокислот; більш ніж сорок жирних кислот; двадцять п'ять мінералів; молочний цукор – лактоза; мікроелементи; усі види вітамінів, відомі на теперішній час та інші речовини, які необхідні організму для нормального функціонування [93]. Середній хімічний склад молока самиць різних видів ссавців наведено у таблиці 2.3 [98, 99].

Практика показує, що виробництво молока на промисловій основі є дуже перспективним напрямком галузі тваринництва. Але існує дуже багато складнощів пов'язаних із продукуванням молока тваринами. А саме, яким чином повинні бути збалансовані корми задля отримання оптимальної кількості молока з урахуванням кривої лактації. На продукування молока дуже

сильно впливає співвідношення поживних речовин у раціоні. Тому створення удосконаленої моделі конверсії енергії корму в продукцію тварин є актуальним завданням.

На сьогодні створено моделі конверсії корму в продукцію молочного скотарства на основі дослідів проведених на тваринах, які мали продуктивність значно меншу ніж високопродуктивні тварини сьогодні.

Тому ці моделі потребують удосконалення з використанням залежностей обміну енергії, отриманих зоотехнічною наукою в останні роки.

Застарілі методи оцінки енергетичних показників кормових раціонів та їх вплив на продуктивність зумовлюють необхідність створення уточнених моделей конверсії корму з урахуванням його складу за енергетичною цінністю та поживністю. Тому ця модель має можливість враховувати зміни якості корму та параметри середовища утримання на продуктивність тварин.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад молока самиць різних видів ссавців

Вид тварини	Вода	Білки	Жири	Лактоза	Зола
Корова	88,0	3,0	3,5	4,9	0,8
Коза	88,9	3,3	4,1	4,4	0,8
Овца	83,6	5,1	6,2	4,2	0,9
Буйволиця	82,9	4,6	7,5	4,2	0,8
Самиця яку	84,0	5,0	6,5	5,6	0,9
Кобилиця	89,7	2,2	1,9	5,8	0,3
Верблюдиця	86,5	4,0	3,0	5,7	0,8
Ослиця	90,0	1,9	1,4	6,2	0,5
Самиця зебу	86,2	3,0	4,8	5,3	0,7
Оленуха	67,7	10,9	17,1	2,8	1,5
Свиня	86,0	7,2	4,6	3,1	1,1
Слониха	67,8	3,1	19,6	3,8	0,6
Самиця дельфіну	48,8	5,6	45,0	1,4	0,6
Самиця кита	45,7	12,0	42,0	1,5	0,9

При розробці моделей продуктивності сільськогосподарських тварин необхідно враховувати загальнобіологічні закономірності в обміні речовин тваринного організму, їх можна сформулювати наступним чином:

- чим вищий рівень годівлі, тим вища продуктивність тварин і нижчі витрати корму на одиницю продукції, і навпаки;
- для одержання високої продуктивності, забезпечення здоров'я та високих відтворюваних функцій тварин їм необхідно з раціонами постачати всі без винятку поживні речовини, яких вони потребують, незалежно від того у великих чи малих дозах ці речовини потрібні тварині;
- чим вищою є продуктивність тварин, тим вищою має бути концентрація енергії в розрахунку на 1 кг сухої речовини раціону.

Розрахунок оптимальних раціонів, приведення їх складу й поживності у відповідність з нормами потреби є найважливішим заходом у системі годівлі тварин.

Однак, окрім перетравності органічної сировини на продуктивність тварин впливає період лактації, період тільності, тобто продуктивність тварини на протязі всього періоду лактації буде не рівномірною. Склад молока буде також не однаковим, це в свою чергу свідчить про те, що і склад кормового раціону повинен змінюватися на протязі усього періоду лактації.

Для забезпечення рівномірного потоку виробництва молока протягом року, за урахуванням періодів запуску та сухостою, необхідно балансування кормового раціону за енергетичною складовою та протеїном.

Валова енергія корму визначається відомою формулою

$$BE_{рац} = 0,0239 \cdot СП + 0,0398 \cdot СЖ + 0,0201 \cdot СК + 0,017 \cdot БЕР; \quad (2.18)$$

де *СП*, *СК*, *СЖ*, *БЕР* – вміст у раціоні сирого протеїну, сирій клітковини, сирого жиру, безазотистих екстрактивних речовин, г.

Перетравність раціону залежить від співвідношення в ньому поживних речовин [100, 101]. Це показано в дослідженнях, які проведено у Науково дослідному інституті тваринництва Лісостепу та Полісся УРСР. Вчені Валігура

та Землякова обробили дані дослідів щодо перетравності, що проведені за останні 20 років. Були отримані рівняння регресії, які дозволяють визначити як коефіцієнти перетравності окремих груп, так і склад перетравної енергії в цілому.

Рівняння регресії щодо розрахунку перетравності загальних груп поживних речовин для жуйних тварин виглядають наступним чином [100]:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 10,479 + 0,595X_1 + 0,162X_2 + 0,812X_3; \\ Y_2 &= 4,694 + 1,158X_1 + 0,420X_2 + 0,558X_3; \\ Y_3 &= 12,911 + 0,755X_1 + 0,561X_2 + 0,562X_3; \\ Y_4 &= 11,011 - 0,223X_1 + 0,911X_2 + 0,440X_3; \\ Y_5 &= 24,108 + 0,548X_1 + 0,128X_2 + 0,733X_3, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 – видима перетравність органічної сировини, протеїну, жиру, клітковини, та БЕР, %;

X_1, X_2, X_3 – концентрація протеїну, клітковини, та БЕР, в органічній речовині раціону, %.

Отримання перетравних поживних речовин через отриману перетравність (Y_i) дозволяє отримати обмінну енергію раціону по формулі

$$OE_{рац} = 0,0312 \cdot nСЖ + 0,0136 \cdot nСК + 0,0147 \cdot (nOP - nСЖ - nСК) + 0,00234 \cdot СП, \quad (2.20)$$

де $nСЖ, nСК, nOP$ – перетравний жир, клітковина, органічна речовина, г [101].

Обмінна енергія раціону витрачається на підтримання життєдіяльності, тільності, приріст, продукування молока та необхідні витрати протеїну [101].

Оцінка енергетичної поживності кормів продукування для лактуючих тварин проводиться на основі чистої енергії лактації (ЧЕЛ). В цій системі у якості критерію оцінки поживності кормів використовується енергія молока, що утворилася з них. Завдяки чому вдається практично повністю виключити вплив раціону на використання обмінної енергії, а також уникнути методичних помилок, що виникають при використанні величини жировідкладення [102].

Для розрахунку продуктивності тварини необхідно розрахувати кількість чистої енергії лактації, що знаходиться в кормі, розраховується за формулою Ван Еса

$$ЧЕЛ_{рац} = 0,6(1 + 0,004(q - 57))ОЕ_{рац}, \quad (2.21)$$

де $ЧЕЛ_{рац}$ – чиста енергія лактації в раціоні, МДж;

q – відношення обмінної енергії раціону $ОЕ_{рац}$ (МДж) до валової енергії раціону $ВЕ_{рац}$ (МДж);

$$q = ОЕ_{рац}/ВЕ_{рац}$$

Після розрахунку чистої енергії лактації, слід визначити витрати обмінної енергії на підтримання життєдіяльності $ОЕ_{ПЖ}$ [98]

$$ОЕ_{ПЖ} = 0,293m_k^{0,75}, \quad (2.22)$$

де $ОЕ_{ПЖ}$ – обмінна енергія для підтримання життєдіяльності тварини у системі ЧЕЛ, МДж;

m_k – маса тварини, кг;

Також слід врахувати енергію, що відкладається в матці, так звана обмінна енергія тільності $ОЕ_T$ [102]

$$ОЕ_T = 0,044 \cdot e^{0,0165 \cdot t}, \quad (2.23)$$

де $ОЕ_T$ – обмінна енергія, що відкладається в матці (енергія тільності), МДж;

t_m – строк тільності, днів;

Після того, як ми визначили всі витрати енергії в організмі, можна розрахувати кількість енергії, що залишиться на продукування молока. Відношення енергії, що залишилася після урахування життєвих потреб до енергії, що необхідна для продукування 1 кг молока і буде продуктивністю тварини. Енергія, що необхідна для продукування 1 кг молока можна визначити за виразом [102]

$$ОЕ_{ПМ} = 0,37 \cdot СЖ + 0,2 \cdot СП + 0,95, \quad (2.24)$$

де $ОЕ_{ПМ}$ – обмінна енергія продукування молока, МДж;

$СЖ$, $СП$ – кількість сирого жиру та сирого протеїну, %.

Тоді продуктивність тварини можна буде розрахувати наступним чином

$$P_{\text{мол.Е}} = \frac{\text{ЧЕЛ}_{\text{рац}} - \text{ОЕ}_{\text{ПЖ}} - \text{ОЕ}_{\text{Т}}}{\text{ОЕ}_{\text{ПМ}}}. \quad (2.25)$$

Розрахунок кількості молока за використанням протеїном проводиться за виразом

$$P_{\text{мол.П}} = \frac{вСП_{\text{рац}} - вСП_{\text{ПЖ}}}{вСП_{\text{ПМ}}}, \quad (2.26)$$

де $вСП_{\text{рац}}$ – використаний протеїн раціону, г ;

$вСП_{\text{ПЖ}}$ – використаний протеїн необхідний для підтримання життєдіяльності тварини, г;

$вСП_{\text{ПМ}}$ – використаний протеїн, необхідний для продукування 1 кг молока, г/кг (табл. 2.4).

Вище наведені вирази справедливі для всього періоду лактації окрім останніх шести тижнів тільності. Цей період потреба в протеїні розраховується інакше. Це пов'язано з тим, що засвоєння протеїну корму у сухостійних корів має другорядне значення. Потреба у протеїну мікрофлори рубця вище, ніж у самої тварини. Зв'язок із енергією рубця та протеїном, що утворюється мікроорганізмами виглядає наступним чином: 1МДжОЕ = 10,1 г СП. Для прикладу, якщо у період шостого – четвертого тижня до отелення організм отримає 84 МДж/добу та 91 МДж/добу у період з третього – нульового тижня, то для зростання мікроорганізмів необхідно буде отримати 850 та 920 г перетравного у рубці протеїну [102].

Таблиця 2.4 – Потреба корів у вСП для продукування 1 кг молока [98]

Вміст протеїну с мо- лоці, %	Використаний сирий протеїн, г/кг молока	
	Чиста потреба	Норма*
3,2	69	82
3,4	73	86
3,6	77	90
3,8	82	94

* Включаючи гарантовану надбавку у розмірі 5%.

Після розрахунків необхідно збалансувати раціон для вирівнювання отриманої кількості молока за енергією та протеїном, причому незначна перевага у бік протеїну вважається припустимою згідно з табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Відкладення азоту та забезпечення сухостійних корів в протеїні, г/добу [103]

Фаза сухостійного періоду	Тижнів до отелення	Відкладення азоту	Потреба у в СП*	Рекомендована норма в СП**
I	6-4	30	1020	1070
II	3-0	38	1110	1165

Завдяки отриманій моделі можна точніше прогнозувати молочну продуктивність великої рогатої худоби. Також модель дозволить корегувати раціон за поживними речовинами враховуючи склад молока за вмістом жиру та протеїну. Доцільно відмітити, що дана модель враховує період тільності, що до теперішнього часу в Україні на робилось. Використовуючи дану модель слід групувати тварин за періодом тільності та масою, що дозволить отримувати стабільну загальну молочну продуктивність та підвищення валового навою.

Для застосування вище зазначеної моделі конверсії корму в продукцію молочного скотарства необхідно внести деякі уточнення, а саме коефіцієнти, які будуть вказувати на кількісний та якісний вплив техніко – технологічних параметрів техніки на вміст поживних речовин в кормовій сировині під час заготівлі, приготування, зберігання та роздавання рослинної сировини.

На сучасному етапі розвитку галузі кормозабезпечення техніко – технологічне забезпечення процесів заготівлі, зберігання, приготування та роздавання кормів досягли досить високого рівня. Близько 80 % операцій виконуються за допомогою сучасних енергозберігаючих засобів механізації. Також вже були розроблені технічні системи, які дозволяють сформувати оптимальний парк машин для відповідних ферм тієї чи іншої потужності. Од-

нак досягнення світових науковців також не залишаються на місці. Вже розроблені новітні системи оцінки впливу вмісту поживних речовин у раціонах великої рогатої худоби на м'ясу та молочну продуктивні тварин.

Створення нових систем оцінки поживних речовин потребує перегляду підходів для створення систем техніко - технологічного забезпечення. А саме створення системи техніко – технологічного забезпечення кормозаготівлі на основі не тільки зниження енергетичних втрат та втрат праці, а також зменшенні втрат поживних речовин в процесі виконання технологічних операцій заготівлі, зберігання, приготування та роздавання кормів.

За останні роки багато уваги приділяється питанням створення комплексної оцінки техніко – технологічного забезпечення кормозаготівлі. Фригін Л. В. досліджував процеси заготівлі силосу сінажу та зелених кормів та отримав математичні залежності вмісту сирого протеїну від тривалості вегетації за фазами. Також йому вдалося дослідити втрати кормової частини врожаю від висоти скошування, залежності втрат сухої речовини від тривалості пров'ялювання трав та ін.. Фригіним Л. В. було запропоновано методику вибору технічних засобів та проектування оптимальних технологій для заготівлі підв'ялених трав [104]. В дослідженнях Фролова В. Ю. [105] розглядав процеси приготування та роздавання кормів, а саме розробку технічних засобів приготування та роздавання стеблових кормів, сформованих у рулони, кормових продуктів із соєвого зерна. Курдюмов В.І. вирішував проблему створення енергоощадної технології та засобів механізації та приготування комбінованого силосу для великої рогатої худоби із створенням моделі функціонування технологічних ліній для приготування кормових сумішей та комбінованого силосу [106]. Удосконаленням технологій та технічних засобів приготування кормів за критерієм енергоощадності займався Мухін В. А. [107]. Огляд проведених робіт у цьому напрямку свідчить про залишкову невирішеність проблеми визначення впливу техніко – технологічних засобів на втрату поживних речовин в процесі виконання технологічних операцій заготівлі, зберігання, приготування та роздавання кормів.

Для вирішення проблеми створення техніко - технологічної системи кормозаготівлі за критерієм мінімальних втрат поживних речовин по-перше необхідно отримати залежності їх втрат в процесі виконання техніко – технологічних операцій заготівлі, зберігання, приготування та роздавання на продуктивність молочного скотарства приймаючи до уваги останні досягнення у галузі зоотехнії, а саме з урахуванням методик розрахунку продуктивності тварин через чисту енергію лактації (ЧЕЛ) [103].

При розгляданні раціонів високопродуктивних корів слід зазначити той факт, що основним компонентами в раціоні (за вагою) залишаються кукурудзяний та люцерновий силос – їх вміст відповідно 18 та 15 кг, інші компоненти виступають у ролі балансування за енергетикою та сирим протеїном. При аналізі технологій виробництва основних складових слід вважати, що найбільших втрат поживних речовин в процесі заготівлі, зберігання та приготування зазначають грубі стеблові корми. Це пов'язано із вологістю сировини на етапі збирання. При визначенні втрат поживних речовин зазвичай враховують ступінь перетравності тієї чи іншої групи кормів раціону в залежності від фізико – механічних властивостей компонентів готового корму. Однак ми припустимося тієї думки, що всі операції по збиранню та подрібненню виконані згідно зоотехнічних вимог та будемо оцінювати лише припустиму втрату поживних речовин на рівні 20% з урахуванням засвоєння великою рогатою худобою того чи іншого поживного елемента (СП, СК, СЖ, СБЕР), при чому за участю розподілу продуктивності на протязі лактації, яка була апроксимована з багатьох реально існуючих.

Отже в процесі створення моделі конверсії корму у продукцію молочного скотарства [81] через розрахунок чистої енергії лактації нами було отримано математичну модель (2.32), яка дозволяє оцінити, яким чином впливають сумарний вміст поживних речовин в раціоні (СП, СЖ, СК, СБЕР) та місяць лактації тварини $T_{\text{лакт}}$ на молочну продуктивність тварини $P_{\text{мол}}$. При чому запланований вміст протеїну в молоці повинен знаходитися на рівні 3,3%, а вміст жиру на рівні 3,9%.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{мол.}} = & -15,5115 + 0,0024СП + 0,0127СЖ + 0,0023СК + 0,028СБЕР + \\
 & + 3,774T_{\text{лакт.}} - 0,0001СП \cdot T_{\text{лакт.}} - 0,0002СЖ \cdot T_{\text{лакт.}} - 0,0001СБЕР \cdot T_{\text{лакт.}} - \\
 & - 0,3261T_{\text{лакт.}}^2, \quad (2.27)
 \end{aligned}$$

Графічна інтерпретація рівняння регресії по парних залежностях наведена на рисунку 2.3.

Аналізуючи представлені графічні інтерпретації можна спостерігати період росту продуктивності, пов'язаний зі звиканням тварини до повноцінного раціону і приблизно на рівні другого – третього місяця лактації продуктивність сягає максимуму, слід зауважити на тому, що тривалість лактації виступає у якості показника фізіологічної властивості організму тварини споживати більше обмінної енергії із розвитком плоду в матці. Цей процес розпочинається з моменту осіменіння корови який зазвичай припадає на 90 – 100 день лактації. На протязі одного – двох місяців енергія тільності критично не впливає на загальну продуктивність (рис. 2.3 а, б), вплив починає спостерігатися близько четвертого – п'ятого місяця лактації та зменшує продуктивність практично до нуля. Після чого розпочинається сухостійний період, який в свою чергу потребує зміни раціону. В свою чергу нас цікавить продуктивність тварин у молочному напрямку, на яку впливає не тільки фізіологічний стан тварини, а і вміст поживних речовин.

Зменшення сумарного вмісту сирого протеїну (з урахуванням коефіцієнту перетравності того чи іншого виду корму та дотриманням зоотехнічних вимог до приготування кормів) на 20 – 25% знижує продуктивність на 17 - 20%. Зниження сумарного вмісту сирі клітковини на 20% суттєво не вплине на продуктивність, тобто буде знаходитися на рівні 95% від запланованої, але 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 (рис. 2.3 в), але деякі складові (наприклад насичені жирні кислоти) також оказують вплив на перетравність основних складових раціону. Найбільшого впливу на продуктивність тварин оказують безазотисті екстрактивні речовини (рис. 2.3 г). Це

пов'язано з тим, що вони містять як енергетичні складові так і протеїногенуючі складові.

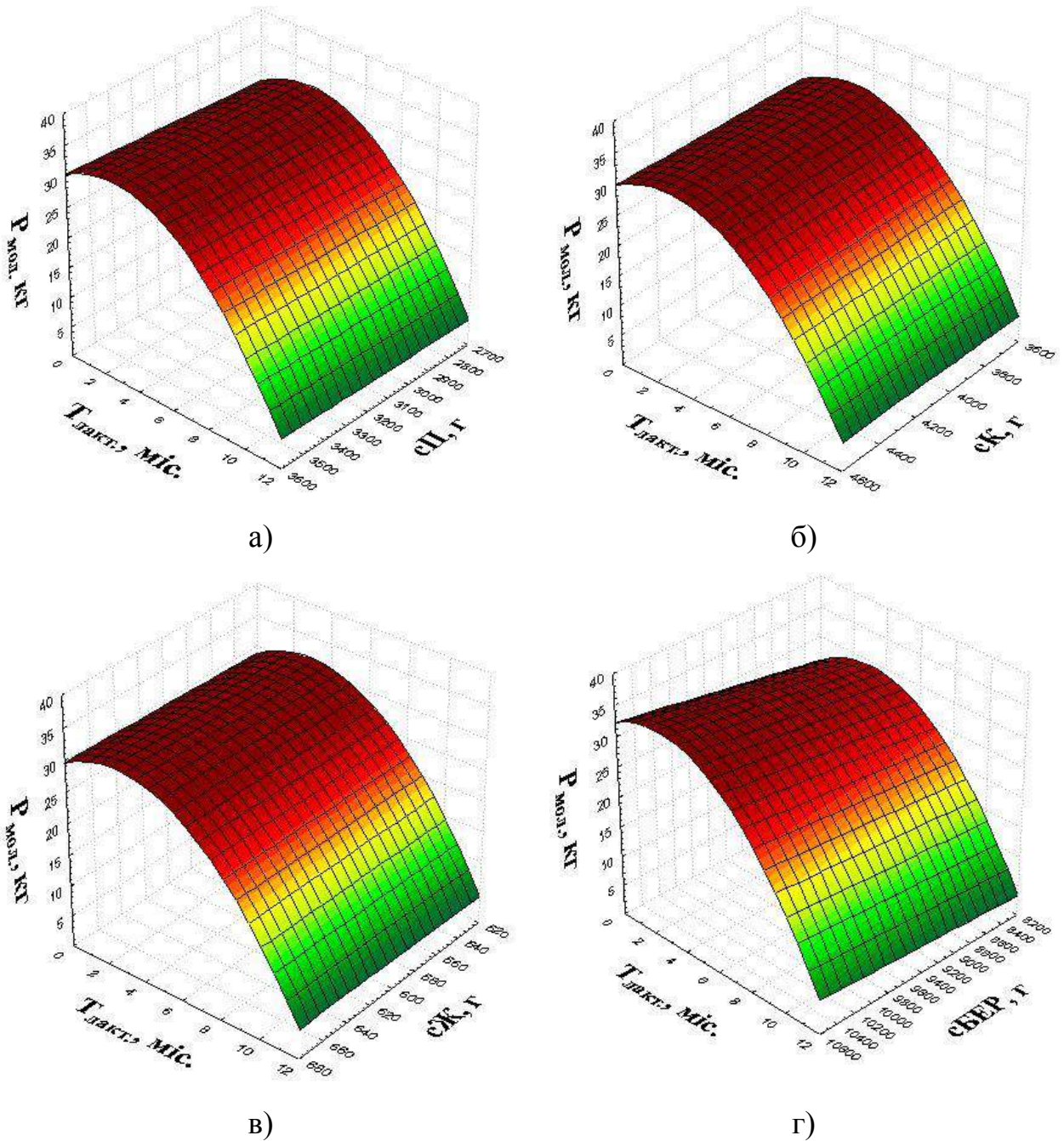


Рис. 2.3 – Графічна залежність впливу вмісту поживних речовин та тривалості лактації на молочну продуктивність тварин: а) залежність молочної продуктивності тварин від вмісту СП та тривалості лактації; б) залежність молочної продуктивності тварин від вмісту СК та тривалості лактації; в) залежність молочної продуктивності тварин від вмісту СЖ та тривалості лактації; г) залежність молочної продуктивності тварин від вмісту СБЕР та тривалості лактації.

З вище наведеного можна зробити наступні висновки:

- вміст основних поживних речовин суттєво впливає на продуктивність тварин не зважаючи на склад раціону (в нашому випадку для високопродуктивних корів);
- дуже важливим є і балансування раціонів як за обмінною енергією так і за вмістом перетравного протеїну;

Отримана модель дозволяє спрогнозувати продуктивність тварин молочного напрямку при наявності точних даних про вміст поживних речовин основних компонентів збалансованих раціонів.

Використання отриманої моделі дозволяє спрогнозувати продуктивність молочного поголів'я виходячи з якісних показників заготовленого корму. Однак використання цієї моделі для визначення впливу техніко – технологічного забезпечення необхідно виявити окремі впливи по кожній технологічній операції заготівлі, зберігання, приготування та роздавання кормів та втрати (набутки) в кожному виді корму поживних речовин, а саме сирого протеїну, сирій клітковини, сирого жиру, сирих безазотистих екстрактивних речовин. На це і будуть спрямовані подальші дослідження.

Підвищення продуктивності тварин залежить не тільки від підвищення валового збору кормів, але і їх якості. Тому виробництво повноцінних кормів та зниження втрат поживних речовин при їх заготівлі є одним з найвирішальних факторів зміцнення кормової бази тваринництва.

Сучасний стан обладнання для приготування кормів, може ледве задовольнити зоотехнічні вимоги щодо приготування кормів. Але в свою чергу зоотехнічні вимоги дозволяють варіювати у деяких межах склад раціону та зміст тих чи інших компонентів. Також якщо приймати до уваги достатньою для згодовування ступінь змішування, що дорівнює 85%, то можна лише припустити яким чином вплине варіювання компонентів у межах 15% на поїдання, засвоєння та перетворення кормів в той чи інший продукт в залежності від спрямування господарства (м'ясо, молоко). Тому стає проблема створення збалансованих раціонів кормів за поживними речовинами та їх варіації щодо більш повного засвоєння поживних речовин.

Доцільним є визначення впливу варіації кількості окремих поживних речовин шляхом варіювання кількості складових раціону у межах зоотехнічних вимог та виявлення найбільш якісної суміші з врахуванням її перетравності.

Для прикладу візьмемо найбільш розповсюджений раціон для степної зони України табл. 2.6 [108, 109].

Таблиця 2.6 - Раціон кормів для ВРХ з наведенням вмісту поживних речовин

Складові раціону	Кількість складових в раціоні, кг	Приблизний вміст поживних речовин, %			
		Сирий протеїн	Сирий жир	Сира клітковина	БЕР
Силос	30	2,3	0,9	7,4	12,6
Сіно (люцерна)	2	13,4	1,9	28,7	32,6
Сінаж	2	8,3	2,2	29	40,2
Концентровані корми	4	11,4	4,4	10,3	57,7
Коренебульбоплоди	15	1,6	0,3	1,3	18,9

Підставивши дані до виразів (2.24), та по чергово фіксуємо різні елементи на одному рівні ми отримали наступні результати (рис. 2.4) для перетравності БЕВ.

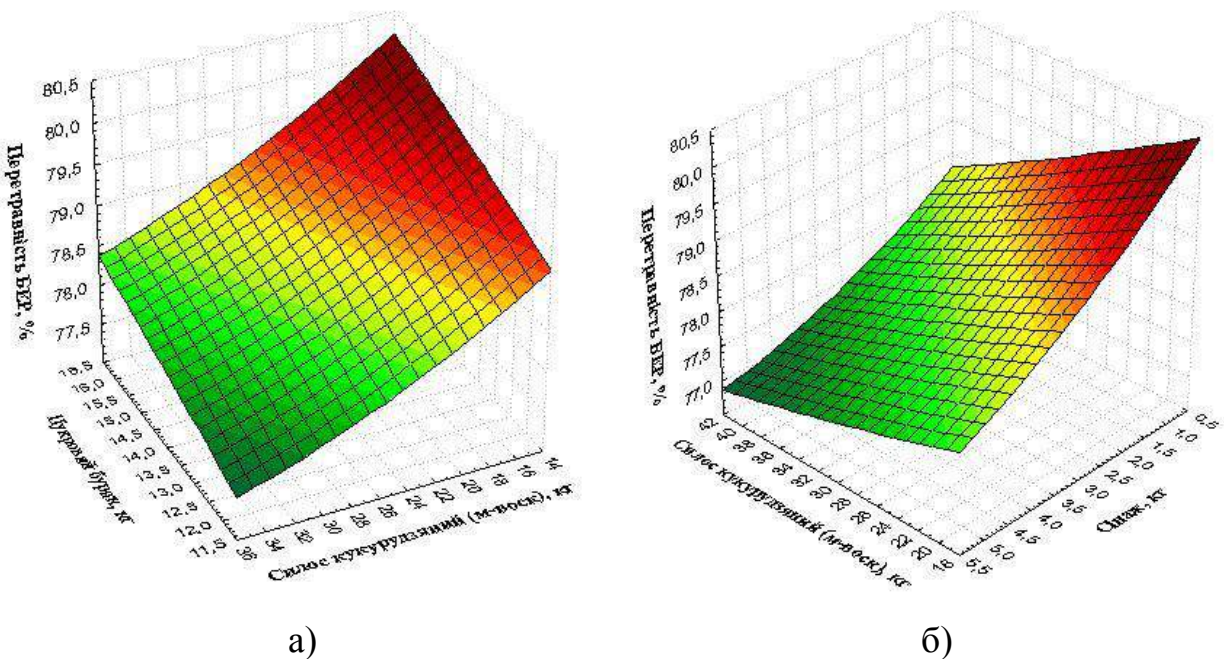


Рис. 2.4 - Перетравність БЕВ в залежності від концентрації: а) коренебульбоплодів (цукрового буряка) та силосу кукурудзяного; б) силосу кукурудзяного та сіна бобових.

Для отримання впливу концентрації коренебульбоплодів, силосу кукурудзяного та сіна бобових на перетравність сирого жиру ми збудували поверхні відгуку (рис.2.5).

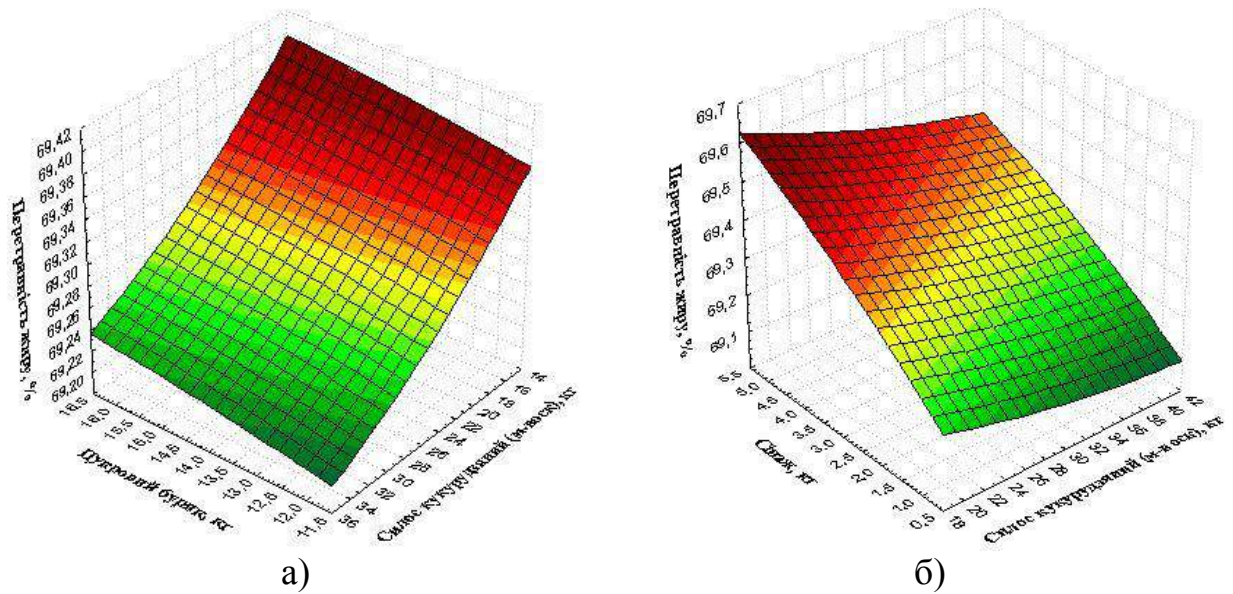


Рис. 2.5 - Перетравність сирого жиру в залежності від концентрації: а) коренебульбоплодів (цукрового буряка) та силосу кукурудзяного; б) силосу кукурудзяного та сінажу.

Також ми виявили залежності впливу концентрації коренебульбоплодів, силосу кукурудзяного та сінажу на перетравність сирого протеїну (рис. 2.6), та на перетравність сирі клітковини (рис. 2.7).

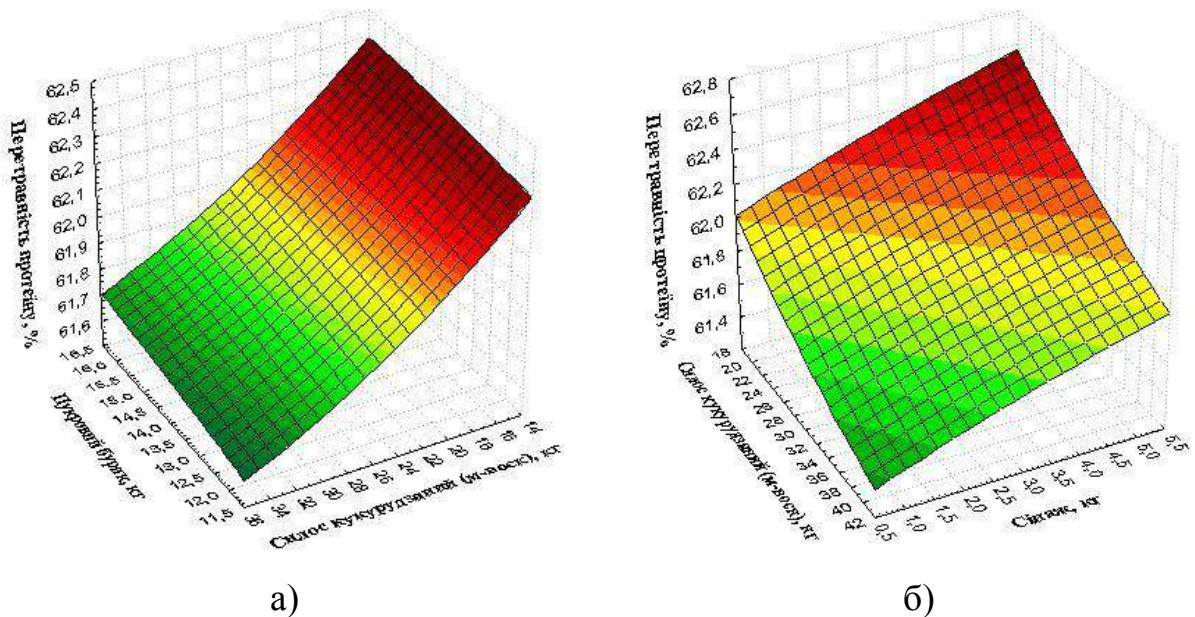


Рис. 2.6 - Перетравність сирого протеїну в залежності від концентрації: а) коренебульбоплодів (цукрового буряка) та силосу кукурудзяного; б) силосу кукурудзяного та сінажу.

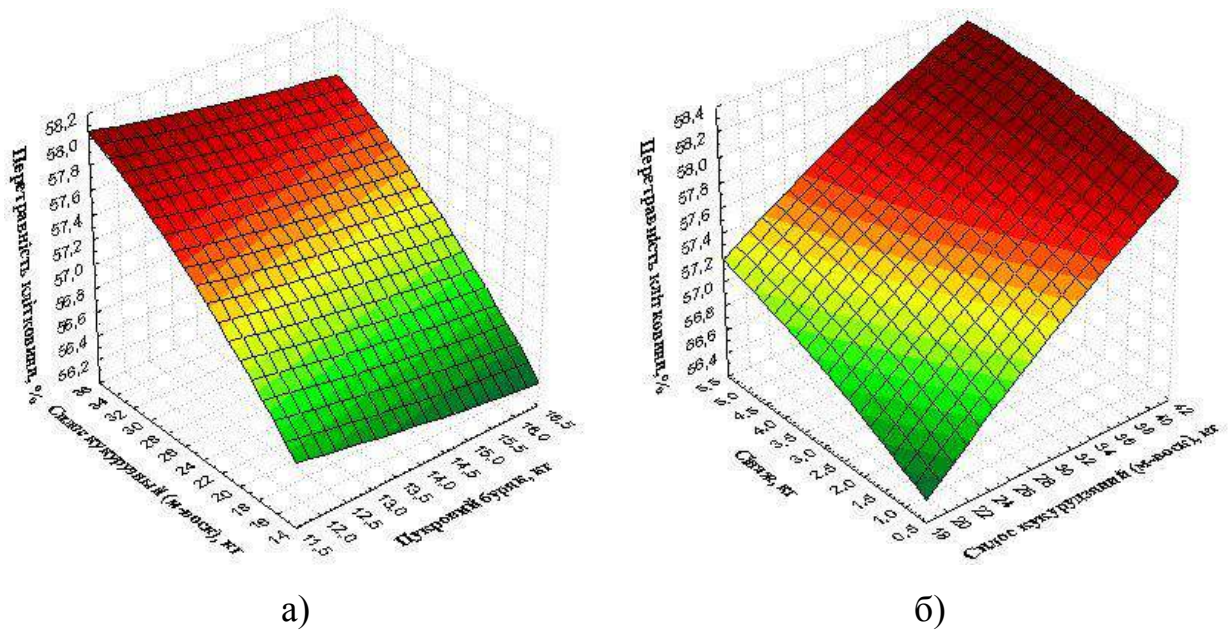


Рис. 2.7 - Перетравність сирової клітковини в залежності від концентрації: а) коренебульбоплодів (цукрового буряка) та силосу кукурудзяного; б) силосу кукурудзяного та сіна бобових.

Отже, проаналізувавши вище наведені поверхні відгуку, слід відзначити, що з трьох елементів раціону, які були змінні, можна зробити наступні висновки: зменшення питомої ваги силосу кукурудзяного (рис. 2.4 а) значно поліпшує перетравність БЕР, тоді як збільшення в структурі раціонів сіна бобового (рис. 2.4 б) також значно підвищує перетравність БЕР. Однак коливання кількості коренебульбоплодів на перетравність БЕР вплинуло не значно (не велике підвищення із зростанням кількості коренебульбоплодів). Розглядаючи залежності перетравності сирого жиру можна помітити покращення перетравності (рис. 2.5 а) із зменшенням питомої ваги силосної маси у раціоні та при збільшенні частки коренебульбоплодів. Теж саме можна сказати і про збільшення питомої ваги в раціоні сіна бобових, що також призводить до незначного покращення перетравності сирого жиру (рис. 2.5 б). А от при розгляді перетравності сирого протеїну, збільшення цукрового буряку призводить до незначного покращення перетравності сирого протеїну (рис. 2.6 а). Водночас при збільшенні питомої ваги в раціоні сіна бобових трав та зменшенні силосу кукурудзяного можна спостерігати за значним покращенням перетравності протеїну (рис. 2,6 б). Перетравність сирової клітковини зростає при збільшенні частки силосної маси (рис. 2.7 а) та при зменшенні коренебу-

льбоплодів, тоді як збільшення частки сіна бобових також значно покращить перетравність сирової клітковини (рис. 2.7 б).

З вищенаведеного можна однозначно говорити про доцільність зменшення частки силосу у раціонах ВРХ та заміною його на сіно бобових трав чи сінаж. При чому все це має на увазі високу культуру приготування та заготівлі кормів.

2.3 Методика оцінки системи кормозаготівлі на основі збереження якості кормової сировини

Збереженість поживних речовин в кормових культурах під час заготівлі, зберігання та приготування постає однією з найважливіших проблем в світлі жорсткої економії природних ресурсів. Останнім часом дуже багато науковців приділяють велику увагу проблемам енерго– та ресурсоощадності в галузі кормозабезпечення. Однак розглядати цю проблему зменшуючи втрати енергії при виконанні тієї чи іншої операції не є доцільним. Ми бачимо вирішення проблеми в системному підході до неї. А саме, в необхідності зміни загального підходу до визначення «втрат». Тобто ми пропонуємо розглядати втрати у більш повному вигляді: втрати електроенергії, втрати коштів, втрати палива, втрати поживних речовин.

Аналіз існуючих систем кормозаготівлі виявив декілька основних параметрів оптимізації, а саме енергоємність техніко - технологічного забезпечення [105, 106] та зменшення кількості основних поживних речовин у перерахунку на суху речовину.

Створення методики, основаної на отриманні таких універсальних показників, які б враховували вплив енергетичних і техніко – технологічних параметрів виконання процесів поряд із впливом цих параметрів на втрати поживних речовин в кормовій сировині, дозволить комплексно оцінити вплив окремих технологій та технічних засобів на втрати поживних речовин в процесі заготівлі, зберігання, приготування та роздавання кормів. Комплексні показники оцінки системи, у поєднанні із моделлю конверсії поживних речо-

вин у молоко [77], дозволять визначати вплив окремої технології та технічного засобу на продуктивність молочного скотарства і її собівартості [107-112].

Отримавши параметри тієї чи іншої технології або технічного засобу, ми будемо в змозі визначити найбільш ефективні з них. Універсальними показниками можуть виступати коефіцієнти збереженості поживних речовин під час виконання технологічних операцій: $K_{з.сП}$ – коефіцієнт збереженості сирого протеїну; $K_{з.сЖ}$ – коефіцієнт збереженості сирого жиру; $K_{з.сК}$ – коефіцієнт збереженості сирого клітковини; $K_{з.сБЕР}$ – коефіцієнт збереженості сирих безазотистих екстрактивних речовин.

Визначивши всі коефіцієнти збереженості поживних речовин, а саме по кожній технологічній операції з використанням відповідного обладнання, та підставивши у модель конверсії рослинної сировини, ми будемо в змозі оцінити кількісний вплив збереженості поживних речовин при використанні технології та відповідного обладнання на продуктивність тварин. А у разі наявності даних щодо фінансових витрат на виконання операцій із визначеним обладнанням – будемо в змозі оцінити собівартість отриманої продукції. В кінцевому рахунку модель конверсії поживних речовин у продукцію молочного скотарства буде виглядати наступним чином

$$P_{\text{мол.}} = -15,5115 + 0,0024K_{з.сП} \cdot СП + 0,0127K_{з.сЖ} \cdot СЖ + 0,0023K_{з.сК} \cdot СК + \\ + 0,028K_{з.сБЕР} \cdot СБЕР + +3,774T_{\text{лакт.}} - 0,0001K_{з.сП} \cdot СП \cdot T_{\text{лакт.}} - \\ -0,0002K_{з.сЖ} \cdot СЖ \cdot T_{\text{лакт.}} - 0,0001K_{з.сБЕР} \cdot СБЕР \cdot T_{\text{лакт.}} - 0,3261T_{\text{лакт.}}^2 \quad (2.28)$$

де $P_{\text{мол}}$ – продуктивність тварини, кг;

$K_{з.сП}$ – коефіцієнт збереженості сирого протеїну при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;

$СП$ – сумарний вміст сирого протеїну в раціоні (з урахуванням коефіцієнта перетравності тієї чи іншої складової раціону), г;

$K_{з.сЖ}$ – коефіцієнт збереженості сирого жиру при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;

$СЖ$ – сумарний вміст сирого жиру в раціоні, г;

$K_{з.сК}$ – коефіцієнт збереженості сирової клітковини при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;

$СК$ – сумарний вміст сирової клітковини в раціоні, г;

$K_{з.сБЕР}$ – коефіцієнт збереженості сирих безазотистих екстрактивних речовин при виконанні технологічних операцій заготівлі, зберігання та приготування кормів;

$СБЕР$ – сумарний вміст сирих безазотистих екстрактивних речовин у раціоні, г;

$T_{лакт.}$ – період лактації, місяців.

Схематично модель збереженості поживних речовин, на прикладі загально-розповсюдженої технології заготівлі силосу, наведено на рисунку 2.8 [113].

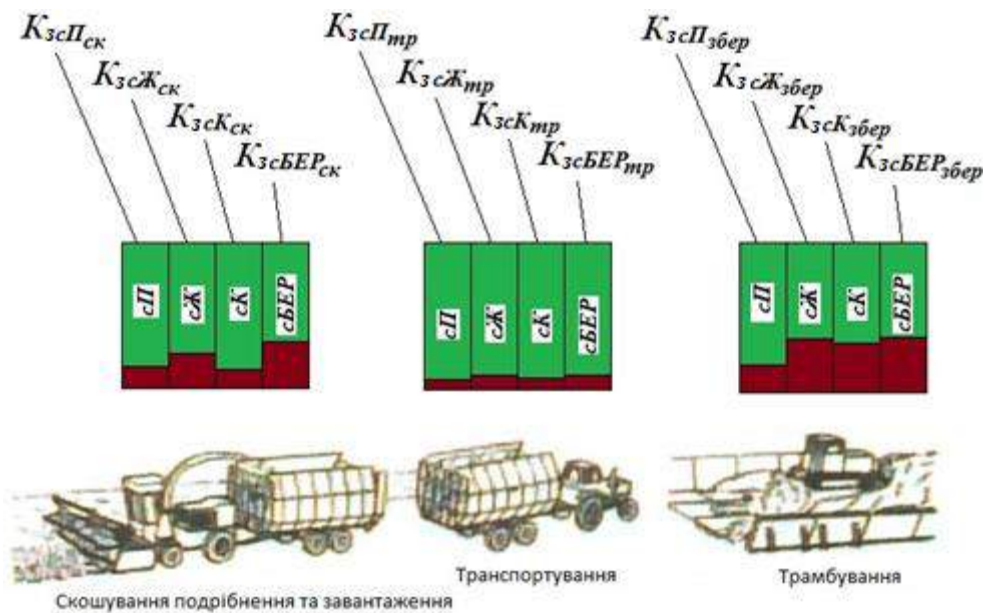


Рис. 2.8 – Схема для визначення коефіцієнтів збереженості поживних речовин при оцінюванні технології заготівлі силосу.

Вважаємо, що тут необхідно навести деякі пояснення. Розглянемо структуру руху кормової сировини на шляху від її збирання до згодовування. Будемо вважати, що рослина, яка набула своєї стиглості, містить в собі чотири контейнери з поживними речовинами в 100% сирого жиру, 100% сирого протеїну, 100% сирової клітковини, 100% сирих безазотистих речовин та, звісно, вологи. Втрати вологи на рисунку умовно не вказуємо, тому, що цей процес уже досліджувався раніше Гарькавим А. Д. [114]. З початком виконання

технологічних операцій, розглядаючи вище наведений приклад, рослина розпочинає втрачати поживні речовини на операціях скошування подрібнення та завантаження. Залишок поживних речовин, при цьому, позначений відповідно як: $K_{з.сПск}$ (збереженість сирого протеїну при виконанні операції скошування), $K_{з.сКск}$ (збереженість сирі клітковини при виконанні операції скошування), $K_{з.сЖск}$ (збереженість сирого жиру при виконанні операції скошування), $K_{з.сБЕРск}$ (збереженість сирих безазотистих екстрактивних речовин при виконанні операції скошування). Залишок поживних речовин після виконання операції транспортування відповідно позначається як: $K_{з.сПтр}$ (збереженість сирого протеїну при виконанні операції транспортування), $K_{з.сКтр}$ (збереженість сирі клітковини при виконанні операції транспортування), $K_{з.сЖтр}$ (збереженість сирого жиру при виконанні операції транспортування), $K_{з.сБЕРтр}$ (збереженість сирих безазотистих екстрактивних речовин при виконанні операції транспортування). Залишок поживних речовин підчас закладання та зберігання позначені відповідно як: $K_{з.сПзбер}$ (збереженість сирого протеїну при виконанні операції закладання на зберігання та безпосередньо зберігання), $K_{з.сКзбер}$ (збереженість сирі клітковини при виконанні операції закладання на зберігання та безпосередньо зберігання), $K_{з.сЖзбер}$ (збереженість сирого жиру при виконанні операції закладання на зберігання та безпосередньо зберігання), $K_{з.сБЕРзбер}$ (збереженість сирих безазотистих екстрактивних речовин при виконанні операції закладання на зберігання та безпосередньо зберігання). Для визначення загальних коефіцієнтів збереженості поживних речовин всієї представленої технології заготівлі силосу необхідно перемножити відповідні коефіцієнти по всіх відповідних операціях. А саме

$$K_{з.сП} = K_{з.сПск} \cdot K_{з.сПтр} \cdot K_{з.сПзбер}, \quad (2.29)$$

$$K_{з.сК} = K_{з.сКск} \cdot K_{з.сКтр} \cdot K_{з.сКзбер}, \quad (2.30)$$

$$K_{з.сЖ} = K_{з.сЖск} \cdot K_{з.сЖтр} \cdot K_{з.сЖзбер}, \quad (2.31)$$

$$K_{з.сБЕР} = K_{з.сБЕРск} \cdot K_{з.сБЕРтр} \cdot K_{з.сБЕРзбер}. \quad (2.32)$$

Визначення основних параметрів системи кормозаготівлі в подальшому буде зведено до визначення основних параметрів технологічних операцій (табл. 2.7), що оказують найбільший вплив на збереженість поживних речовин.

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти збереженості поживних речовин для визначення показників якості виконання технологічного процесу заготівлі об'ємних кормів.

Вид корму, що заготовлюється	Операції технологічного процесу / відповідні коефіцієнти збереженості			
Силосу	Скошування, подрібнення завантаження / $K_{з.сПск}, K_{з.сКск}, K_{з.сЖск}, K_{з.сБЕРск}$	Транспортування / $K_{з.сПтр}, K_{з.сКтр}, K_{з.сЖтр}, K_{з.сБЕРтр}$		Трамбування, укриття / $K_{з.сПзбер}, K_{з.сКзбер}, K_{з.сЖзбер}, K_{з.сБЕРзбер}$.
Сіно пресоване	Скошування та плющення / $K_{з.сПск}, K_{з.сКск}, K_{з.сЖск}, K_{з.сБЕРск}$	Згрібання у валки / $K_{з.сПзр}, K_{з.сКзр}, K_{з.сЖзр}, K_{з.сБЕРзр}$.	Підбирання, пресування, скручування в рулони / $K_{з.сПпр}, K_{з.сКпр}, K_{з.сЖпр}, K_{з.сБЕРпр}$	Завантаження, зберігання / $K_{з.сПзбер}, K_{з.сКзбер}, K_{з.сЖзбер}, K_{з.сБЕРзбер}$.
Сінаж	Скошування та плющення / $K_{з.сПск}, K_{з.сКск}, K_{з.сЖск}, K_{з.сБЕРск}$	Підбирання, подрібнення та завантаження / $K_{з.сПнід}, K_{з.сКнід}, K_{з.сЖнід}, K_{з.сБЕРнід}$.	Транспортування / $K_{з.сПтр}, K_{з.сКтр}, K_{з.сЖтр}, K_{з.сБЕРтр}$	Трамбування, укриття / $K_{з.сПзбер}, K_{з.сКзбер}, K_{з.сЖзбер}, K_{з.сБЕРзбер}$

Після виявлення таких операцій, необхідно буде дослідити вплив найбільш перспективних засобів механізації для цих операцій та визначити шляхи їх вдосконалення з урахуванням мінімізації втрат поживних речовин, в нашому випадку збільшення коефіцієнтів збереженості поживних речовин.

2.4 Висновки по розділу

1. Організувати ефективне виробництво та зберігання високоякісних, екологічно безпечних та збалансованих кормових сумішей можливо шляхом підвищення конверсії енергії кормових компонентів в продукцію молочного скотарства за рахунок балансування вмісту основних поживних речовин поряд із енергетичною або протеїновою складовою. Застосування економічно обґрунтованих технологічних та технічних засобів для заготівлі та зберігання рослинної сировини із закладенням її у полімерні сховища дозволить максимально зменшити втрати поживних речовин під час збирання, транспортування та зберігання.

2. Представлено структурну модель технічної системи кормозаготівлі для сучасних умов функціонування сільськогосподарських підприємств, яка включає обґрунтування енергозберігаючих технологічних процесів кормозаготівлі, енергетичну оцінку та обґрунтування раціонів сільськогосподарських тварин, енергетичну оцінку та обґрунтування технології зберігання рослинної сировини, обґрунтування складу потокових технологічних ліній зберігання кормів на базі лінії закладання кормів у полімерні сховища із внесенням сипкого консерванту, а також обґрунтування конструктивно – технологічної схеми обладнання для заготівлі рослинної сировини у полімерних сховищах.

Комплексне вирішення питань зниження втрат поживних речовин та витрат енергії відбувається на цілому ряді взаємозв'язаних рівнів енергозбереження та збереження поживних речовин від вибору раціону до приватних режимів функціонування окремих машин.

3. Аналіз існуючих технологічних ліній показав, що оптимальним поєднанням машин в технологічній лінії закладання рослинної (кормової) сировини на зберігання є наступне: мобільний бункер із можливістю попереднього ущільнення → двогвинтовий ущільнювач з можливістю ущільнення рослинної сировини методом скручування → дозатор консерванту. При цьому, в залежності від технології, після пакування ущільненої рослинної сировини маса може подаватися як у змішувач для додавання необхідних компонентів раціону, так і на зберігання до виникнення потреби.

4. Задля вирішення проблеми енерго– та ресурсоощадності в галузі кормозаготівлі та збереженості поживних речовин в кормових культурах під час заготівлі, зберігання та приготування запропоновано методологічні принципи формування системи кормозаготівлі із підбором техніко – технологічного обладнання для забезпечення ефективного кормовиробництва на основі збереження якості кормової сировини.

Визначення основних параметрів системи кормозаготівлі в подальшому пропонується звести до визначення основних параметрів технологічних операцій, що оказують найбільший вплив на збереженість поживних речовин. Після виявлення таких операцій, необхідно буде дослідити вплив найбільш перспективних засобів механізації для цих операцій та визначити шляхи їх вдосконалення з урахуванням мінімізації втрат поживних речовин.

5. В процесі створення моделі конверсії корму у продукцію молочного скотарства через розрахунок чистої енергії лактації було отримано рівняння регресії (2.28), яке дозволяє оцінити, яким чином впливають сумарний вміст поживних речовин в раціоні та місяць лактації тварини на її молочну продуктивність. При цьому запланований вміст протеїну в молоці повинен знаходитися на рівні 3,3%, а вміст жиру на рівні 3,9%.

Графічна інтерпретація рівняння регресії дозволяє спостерігати період росту молочної продуктивності, пов'язаний із звиканням тварини до повноцінного раціону і приблизно на рівні другого – третього місяця лактації продуктивність сягає максимуму, при цьому тривалість лактації виступає у якості показника фізіологічної властивості організму тварини споживати більше обмінної енергії із розвитком плоду в матці. На протязі одного – двох місяців енергія тільності критично не впливає на загальну продуктивність, вплив починає спостерігатися близько четвертого – п'ятого місяця лактації та зменшує продуктивність практично до нуля. Після чого розпочинається сухостійний період, який в свою чергу потребує зміни раціону.

Також на продуктивність тварин молочного напрямку впливає вміст поживних речовин. Зокрема, зменшення сумарного вмісту сирого протеїну на 20 –

25% знижує продуктивність на 17 - 20%. Зниження сумарного вмісту сирової клітковини на 20% суттєво не вплине на продуктивність, тобто буде знаходитися на рівні 95% від запланованої, але 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) також оказують вплив на перетравність основних складових раціону. Найбільшого впливу на продуктивність тварин оказують безазотисті екстрактивні речовини.

Таким чином, отримана модель дозволяє спрогнозувати продуктивність тварин молочного напрямку при наявності точних даних про вміст поживних речовин основних компонентів збалансованих раціонів.

6. Проблема створення збалансованих раціонів кормів за поживними речовинами та їх варіації щодо більш повного засвоєння зумовлює доцільність визначення впливу варіації кількості окремих поживних речовин шляхом варіювання кількості складових раціону у межах зоотехнічних вимог та виявлення найбільш якісної суміші з урахуванням її перетравності.

7. Отримані поверхні відгуку свідчать, що зменшення питомої ваги силосу кукурудзяного та збільшення частки сіна бобового значно поліпшує перетравність БЕР. Коливання кількості коренебульбоплодів на перетравність БЕР впливає незначно. Спостерігається покращення перетравності із зменшенням питомої ваги силосної маси та при збільшенні частки коренебульбоплодів у раціоні. Збільшення вмісту цукрового буряку призводить до незначного покращення перетравності сирого протеїну. При збільшенні питомої ваги в раціоні сіна бобових трав та зменшенні силосу кукурудзяного можна спостерігати за значним покращенням перетравності протеїну. Перетравність сирової клітковини зростає при збільшенні частки силосної маси або сіна бобових та при зменшенні коренебульбоплодів.

З вищенаведеного можна однозначно говорити про доцільність зменшення частки силосу у раціонах ВРХ та заміною його на сіно бобових трав чи сінаж. При чому все це має на увазі високу культуру приготування та заготівлі кормів.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ КОНСЕРВОВАНИХ КОРМІВ ЗА ЯКІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

3.1 Теоретичні основи визначення фізико-механічних властивостей матеріалу

3.1.1 Визначення модуля пружності зсуву

Фізико-механічні властивості різноманітних матеріалів підлягали аналізу з давніх часів. Ще Максвелл запропонував розглядати матеріали як сукупність двох середовищ – пружної, що підпорядковується закону Гука, та в'язкої, яка описується законом Ньютона у 1868 році. Про пружні та в'язкі властивості сільськогосподарських матеріалів говорив і В. А. Желіговський [115].

На наш погляд, насамперед це пов'язано із зацікавленістю людей у збереженні поживних речовин рослин на протязі холодної пори року. В свою чергу якісно збережена рослинна сировина є джерелом поживних речовин для тварин, які і продукують необхідні для людей продукти харчування.

Попередні дослідження зміни опору стебловій частині рослин [116] вказують на поступове зменшення опору стебел із часом при прикладенні навантажень. Саме цей факт слід використовувати при закладанні рослинної сировини на зберігання [117].

При скручуванні стрижня круглого перетину моментом сил $M_{кр}$, прикладених до його кінців виникає деформація у вигляді повороту його перетинів на кут φ відносно нерухомо закріпленого кінця (основи).

Для перетину, який знаходиться на відстані x від основи, цей кут знаходиться із залежності [118, 119]

$$d\varphi = \frac{M_{кр}}{GJ_{px}} dx, \quad (3.1)$$

де G – модуль пружності зсуву (модуль пружності другого роду), Па;

J_{px} – полярний момент інерції перетину стрижня на відстані x від ос-

$$\text{нови, рівний } J_{px} = \frac{\pi D_x^4}{32};$$

D_x – діаметр перетину стержня на відстані x від основи.

Представляючи, що стрижнем є стебло рослини, яке має конічну форму зі зменшенням діаметру з довжиною, зміну діаметра перетину від довжини x представимо виразом [118]

$$D_x = D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x, \quad (3.2)$$

де D_c, d_c – відповідно діаметр основи і кінця стрижня;

l_c – довжина стрижня.

Підставивши формулу (3.2) в (3.1) і інтегруємо отриманий вираз [111]

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{\pi G} \int_0^{l_c} \frac{dx}{[D_c - (D_c - d_c)x/l_c]^4}, \quad (3.3)$$

звідки

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{3\pi G} \cdot \frac{l_c}{D_c - d_c} \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (3.4)$$

За цим виразом знаходимо величину модуля зсуву досліджуваного матеріалу стебла [118]

$$G = \frac{32M_{кр}}{3\pi\varphi} \cdot \frac{l_c}{D_c - d_c} \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (3.5)$$

Для визначення осьового моменту інерції стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп) (рис. 3.1) розглянемо крок розміщення стебел по радіусу снопа і його колу [118]

$$h = \sqrt{3}r_c \quad \text{і} \quad d = 2r_c, \quad (3.6)$$

де r_c – радіус стебла.

Таким чином у кільці з середнім радіусом ρ і шириною dx знаходиться кількість стебел [118]

$$dx = \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} d\rho. \quad (3.7)$$

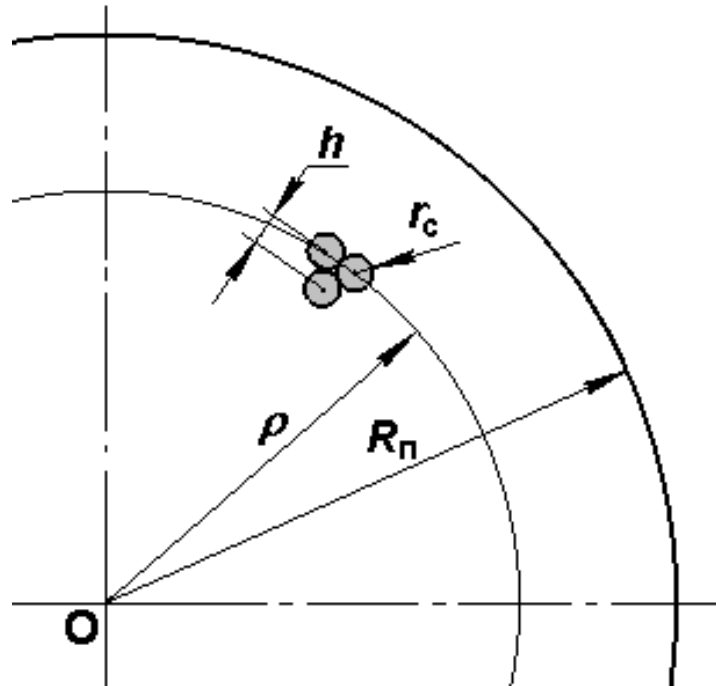


Рис. 3.1 – Розташування стебел в пучку

Таким чином осьовий момент інерції стебел, розташованих у цьому кільці становить

$$\begin{aligned} dJ &= \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \pi r_c^2 \cdot \rho^2 d\rho + \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \frac{\pi r_c^4}{2} d\rho = \\ &= \frac{\pi^2}{\sqrt{3}} \left(\rho^3 + \rho \cdot \frac{r_c^2}{2} \right) d\rho \end{aligned} \quad (3.8)$$

У результаті інтегрування отримуємо момент інерції J_n перетину пучка, що дорівнює [118]

$$J_n = \frac{\pi^2 R_n^2}{4\sqrt{3}} (R_n^2 + r_c^2). \quad (3.9)$$

Беручи до уваги, що $R_n = \sqrt{3}r_c^2 z$, де R_n – радіус пучка маємо [118]

$$J_n = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4. \quad (3.10)$$

Для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного з використанням усього снопа використаємо залежності формулу (3.5).

Для цього з виразу (3.10) знайдемо приведений діаметр снопа у нерухомо закріпленого кінця (основи), який становить

$$D_n = \sqrt[4]{\frac{\sqrt{3}}{2} \pi z^2 (3z^2 + 1) \cdot D_c}. \quad (3.11)$$

У кінці стрижня приведений діаметр снопа дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d_c}{D_c}. \quad (3.12)$$

Звідси величина модуля зсуву матеріалу стебел, зв'язаних в пучок (сніп) визначається з виразу

$$G = \frac{16M_{кр}}{3\sqrt{3}\pi^2 z^2 \varphi(3z^2 + 1)} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (3.13)$$

де D_n , d_n – відповідно діаметр нерухомої основи і кінця пучка стебел.

На кінцях стебел діаметр пучка дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d}{D}. \quad (3.14)$$

Запропонуємо більш простий спосіб визначення осьового моменту інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп).

При цьому виходимо зі зниження поверхневої щільності пучка через нещільне взаємного прилягання стебел у ньому. Таким чином осьовий момент інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок становитиме

$$J_n = J_{n_0} \cdot \frac{\sum S_c}{S_{n_0}}, \quad (3.15)$$

де J_{n_0} , S_{n_0} – відповідно момент інерції і площа перетину пучка поточного перетину;

$\sum S_c$ – сумарна площа перетину стебел.

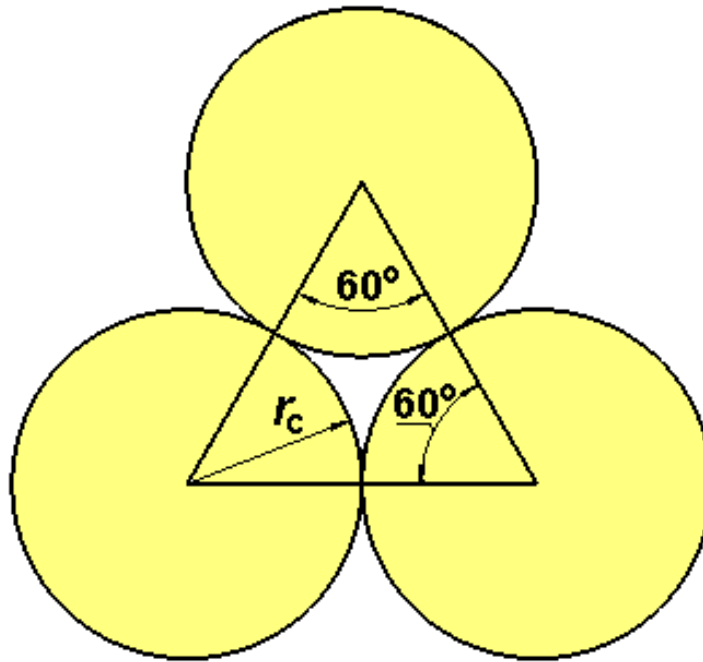


Рис. 3.2 – Розташування стебел в пучку.

Приймаючи стільникове взаємне розташування стебел в пучку (рис. 3.2) для взаємно прилеглих трьох стебел вираз (3.15) можна представити у вигляді

$$J_n = J_{n_0} \cdot \frac{\pi r_c^2 / 2}{\sqrt{3} r_c^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} J_{n_0}, \quad (3.16)$$

За цієї умови для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного матеріалу з використанням пучка стебел(снопа)застосовуємо формулу (3.5), яка набуває вигляду

$$G = \frac{64M_{кр}}{\sqrt{3}\pi^2\varphi} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (3.17)$$

Таким чином, при визначенні величин модуля зсуву матеріалу для одного стебла так і в складі пучка стебел слід визначити D і d – середні діаметри D основи і d кінця стрижня, довжину l стрижня, відповідно для пучка стебел (снопа) $D_{п}$ і $d_{п}$ – діаметр нерухомої основи і кінця пучка та його довжину l , момент сил $M_{кр}$, прикладених до його кінці, та кут φ повороту перетину кінця стрижня відносно нерухомо закріпленого кінця.

Незважаючи на однотипність виразів формул (3.5) і (3.17) результати

будуть різнитися хоч би виходячи з того що при деформації пучка стебел завжди наявним буде їх взаємне радіальне переміщення, яке супроводжується тертям.

3.1.2 Визначення модуля згину

Під дією зовнішніх сил, що викликають прямий вигин стебла, його спочатку пряма вісь викривляється, перетворюючись на криву лінію, яка називається вигнутою віссю або пружною лінією [119].

Лінійне переміщення центру поперечного перерізу перпендикулярно до осі недеформованого стебла називається прогином (y) перерізу, максимальне значення якого називається стрілою f прогину. При цьому поперечний переріз залишається плоским і нормальним до вигнутої осі стебла. Воно повертається навколо нейтральної осі на кут θ , який називається кутом повороту перерізу.

Центри маси поперечних перерізів при деформації стебла лінійно переміщуються як перпендикулярно, так і паралельно до його осі x , а кут нахилу до осі стебла дотичній до вигнутої осі y будь-якій точці дорівнює куту повороту θ поперечного перерізу, що проходить через цю точку.

Таким чином рівняння зігнутої осі пружного стебла під дією згинаючого моменту $M(x)$ має вигляд [118, 119]

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EJ}, \quad (3.18)$$

де E – модуль пружності першого роду;

J – осьовий момент інерції, для круглого перетину рівний половині осьового моменту інерції.

Так як у нашому випадку при дослідженнях використовуємо консольне закріплення як стебла, так і пучка, згинаючий момент $M(x)$ визначається залежністю

$$M(x) = P \cdot l, \quad (3.19)$$

де P – зусилля згину.

Практично при відношенні величини прогину до довжини балки менше ніж 0.05 у рівнянні (3.18) нехтують квадратом першої твірної у чисельнику, яка досить мала порівняно з одиницею. Тоді це рівняння набуває наближеного вигляду, який використовується у більшості випадків.

У нашому випадку стебла рослин (при вологості закладається сінажу біля 55 %) досить гнучкі тому слід використовувати рівняння (2.18) у його повній формі.

Таким чином маємо

$$E = \frac{P \cdot l}{J} \cdot \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}}. \quad (3.20)$$

При визначенні модуля пружності першого роду E з використанням одного стебла у вираз (3.20) підставляємо значення осьового моменту інерції, яке дорівнює

$$J = \frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4, \quad (3.21)$$

при визначенні модуля пружності першого роду E з використанням пучка стебел

$$J = \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4 \quad \text{чи} \quad J = J_{n_0} \cdot \frac{\pi}{4\sqrt{3}} J_{n_0}. \quad (3.22)$$

Для розв'язання диференційного рівняння (3.20) необхідно його двічі проінтегрувати [120, 121] та після підстановки значень виразів (3.21) та (3.22) і математичних перетворень отримаємо вирази відповідно для визначення модулю пружності одного стебла [118]

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4 \right)} \quad (3.23)$$

та для пучка стебел

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\sqrt{3}}{8} \pi^2 z^2 (3z^2 + 1) r_c^4 \right)} \quad (3.24)$$

Завдяки визначенню цих модулів стає можливим розрахунок напружень та зусиль, що виникають в процесі ущільнення рослинної сировини.

3.2 Моделювання процесу ущільнення грубих стеблових кормів

3.2.1 Визначення параметрів процесу ущільнення кормової маси

Дослідженням рослинної сировини приділялось багато уваги з давніх часів. Першими спробами можна вважати ущільнення соломистих матеріалів для використання у якості альтернативного палива. Пристрої для ущільнення стеблових матеріалів, застосовують приблизно з кінця ІХХ сторіччя. Приблизно до того ж часу припадають і перші спроби навести наукове обґрунтування цього процесу [118-123]. Але ж більш детальні дослідження ущільнення стеблових матеріалів були розпочаті на початку ХХ сторіччя.

Перші брикети були отримані у м. Свердловськ відомим на той час винахідником А. А. Гловим, у подальшому використання паливних брикетів було спрямовано на використання у газогенераторних двигунах [123]. Першими механізмами для виготовлення паливних брикетів були торфобрикетні преси штемпельного типу. Але вони не були пристосовані до пресування рослинної сировини. Отже необхідно було проведення досліджень фізико-механічних досліджень та технологічних властивостей матеріалів, що підлягали пресуванню. Це все було необхідно для визначення конструктивно-

технологічних параметрів та режимів роботи пресового обладнання. Великого вкладу у дослідження проблем ущільнення рослинної сировини внесли науковці В.П. Горячкин [124], Є.М. Гутьяр [125], М. А. Пустигін [126, 127], В.І. Особов [128, 129], І.А. Долгов [130], Є.І. Храпач [131], В.Ф. Некрашевич [132], С.А. Алферов [133], А.А. Григорьев [134], М.А. Перегожин [135], А.А. Колотев [136], Г.Н. Шульга [137], Ч. Канафойський [138], Х. Скальвейт [139], Дж.Л. Батлер и Х.Ф. Мак-Колли [140], Ю. В. Подкользін [141], Е. Мевес [142] та ін..

Результатами їх діяльності явились спеціальні прес-брикетувальники для стеблових матеріалів].

В результаті проведених досліджень ущільнення стеблових матеріалів багатьма авторами були встановлені різноманітні залежності щільності матеріалу ρ та ступеню його стиснення від прикладеного зусилля P .

Однак попри усіх прикладених зусиль у дослідників відсутня єдина думка про закономірності процесу пресування сіно-соломистих матеріалів. На основі отриманих даних було запропоновано багато рівнянь, що пов'язують тиск пресування із деформацією або щільністю пресованого матеріалу [139, 140]. Деякі вчені (Е. М. Гутьяр [125], Х. Скальвейт [139], С. А. Алферов [133], Е. И. Храпач [131], А. А. Григорьев [134], Г. Я. Фарбман [147], В. Ф. Некрашевич [132], М. А. Перегожин [135], Ю. В. Подкользін [141], Э. Мевес [142], І. І. Волф и А. А. Чапкевич [148], Д. І. Ніколаєв [149], Ж. Т. Шаукентаєв [150], А. В. Голяновский [151]) вважають, що залежність між тиском пресування та щільністю матеріалу в камері можна виразити ступеневою функцією, у вигляді $P=C\rho^S$, тоді як інші дослідники (М. А. Пустигін [126, 127], В. І. Особов [128, 129], И. А. Долгов [130], Дж.Л. Батлер и Х. Ф. Мак-Колли [140], В. Ф. Кузьменко [152], А. М. Муратов [153], В. Буссе [154], П. В. Яговкин [155], В. І. Щербина [156]) вважають, що залежність повинна мати експоненціальну залежність у вигляді $P=Ae^{B\rho}$. Тоді як Г. Н. Шульга був певний у тому, що залежність між тиском пресування та щільністю буде змінювати свій фізичний сенс при зміні вологості матеріалів,

що пресують, а саме при вологості до 15,6% залежність буде ступеневою, тоді як при збільшенні вологості понад 18% залежність вже буде експоненціальною [137]. Також не слід забувати про прихильників закону Гука, наприклад В. П. Горячкин [124] та Є. М. Гутьяр [125]. Наприклад В. П. Горячкин запропонував залежність осьового тиску від переміщення поршня [124].

$$p = p_{max}(1 - x^2/S^2), \quad (3.25)$$

де p , p_{max} - відповідно, поточний та максимальний тиск на поршень;
 x , S - відповідно, шлях та хід поршню.

Ч. Канафойський під час досліджень стиснення соломистих матеріалів дійшов висновку, що закон стиснення соломи виразити математично неможливо. Це пов'язано з тим, що він використовував однакові соломисті трубки без кореневищ, тоді як тиск стиснення не перевищував 0,1 МПа. В результаті чого він отримував криві стиснення з різними ділянками перегинів та різного характеру.

Однак під час своєї роботи Канафойський виявив той факт, після зняття ущільнюючого навантаження для утримання пресованої маси на тому ж рівні необхідне зусилля, яке у 8-10 разів менше за зусилля стиснення.

М. А. Пустигін помітив, що при наявності вузлів, листя та стеблин з різною орієнтацією не відбувається безпосереднього зламу стеблин, а він проходить разом із плющенням. Як наслідок цього процес ущільнення проходить м'яко та рівномірно [127].

Матеріали, що підлягали пресуванню мають притаманні лише їм фізико-механічні та технологічні властивості, які впливають на процес ущільнення. Саме тому багато дослідників прагнули визначити ці властивості та виявити їх вплив на процес. Наприклад Є. М. Гутьяр у запропонованих залежностях [125] враховував модуль пружності першого роду та коефіцієнт Пуассона. Такі дослідники як М.А. Пережогін [135], В. П. Лисоконь [157] та Є. І. Храпач [131] враховували вологість корму, при чому Є. І. Храпач приймав до уваги ще і швидкість деформації матеріалу.

Численними дослідженнями було встановлено, що найбільш впливовими фізико-механічними властивостями є вологість, фракційний склад, та температура.

На сучасному етапі вже не вважається за секрет той факт, що при збереженні кормів слід насамперед уникнути контакту кормової маси з повітрям. Це досягається різноманітними способами, такими як заповнення інертними газами місткостей для зберігання, ущільнення кормової маси, трамбуванням поряд із укриттям сховищ або місткостей повітрянепроникними плівками або укладанням у полімерні рукави тощо. Але ж найбільшого розповсюдження набули саме процеси ущільнення кормової маси, де за рахунок безпосереднього стиснення вільно розміщених часток відбувається витіснення повітря з кормової маси. Цими питаннями вже займалися Л. І. Хворостянов [158], А. М. Семеніхін [159], А. А. Зубрілін [160], А. А. Кожухов [161] та ін. Однак вирішити ці питання остаточно не вдалося. Були запропоновані теорії ущільнення кормової маси, теорії пористості, укладання та ін. Однак питання залишається гострим у зв'язку із надто великими втратами поживних речовин при зберіганні, близько 15 %. Тому ми вважаємо, що актуальність цієї тематики залишається і потребує подальшого розвитку.

Процесами самоущільнення кормових мас у невеличких сховищах займався Л. І. Хворостянов [158], який найбільш системно розглянув фізико-механічні властивості силосованих кормів. Академік Р. А. Муллер [162] висунув деякі емпіричні формули для ґрунтів нормальної вологості, які з деякими припущення ми можливо використати і для силосних монолітів. Згідно з ними нормальний вертикальний тиск p_z буде дорівнювати

Для емоностей прямокутного перетину

$$p_z = 9,81\rho_{cp} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi si}{2\Psi(i+1)}} \cos\left(\sqrt{\frac{I}{s}} \cdot \frac{2x}{a}\right) \cos\left(\sqrt{\frac{I}{s}} \cdot \frac{2y}{b}\right) \Phi\left[\frac{2z}{a} \sqrt{\frac{\Psi(i+1)}{si}}\right] \quad (3.26)$$

Для емоностей круглого перетину

$$p_z = 9,81\rho_{cp} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi si}{2\Psi(i+1)}} \cos\left(\sqrt{\frac{2}{s}} \cdot \frac{r}{R}\right) \Phi\left[\frac{2}{R} \sqrt{\frac{2\Psi}{s}}\right] \quad (3.27)$$

де ρ_{cp} - середня щільність маси, кг/м³;

a, b - довжина та ширина прямокутної ємності, м;

i - відношення b/a ;

R - радіус круглої ємності, м;

s - коефіцієнт, що характеризує гладкість стінок ємності;

Ψ - коефіцієнт бокового тиску;

$\Phi(a)$ - функція Лапласа;

$J_0(u)$ - функція Беселя першого роду, нульового аргументу

$$u = \frac{r}{R} \sqrt{\frac{2\Psi}{s}};$$

x, y, z, r - координати точки, для котрої визначається тиск.

Оптимальними із позицій забезпечення найбільшого нормального вертикального тиску p_z є ємності із круглим перетином, за якими вже йдуть ємності квадратного перетину тому як вони мають менший периметр при однаковій площі перетину. При чому у всіх випадках ємності з більшими площами перетину володіють перевагами перед ємностями з малими перетинами, а ємності із великою висотою мають переваги перед меншими [162, 163].

Також проводились дослідження впливу ударного навантаження на кормову масу та було отримано формулу корисної роботи деформації, в залежності від швидкості руху штемпелю \mathcal{G}_n у момент удару, швидкості відскоку штемпелю \mathcal{G}_k чи швидкості відновлення ущільнюючого матеріалу, а також від маси M останнього [158]

$$A_{def}^n = \frac{m(\mathcal{G}_n^2 - \mathcal{G}_k^2)}{2} - \frac{M\mathcal{G}_k^2}{2} = \frac{M\mathcal{G}_n\mathcal{G}_k}{2}. \quad (3.28)$$

В дослідженнях ударних навантажень був також виявлений коефіцієнт корисної дії удару, який визначили як

$$\eta_{y\partial} = \frac{A_{def}^n}{A_n} = \frac{M\mathcal{G}_n\mathcal{G}_k}{m\mathcal{G}_n^2} = 1 - \frac{\mathcal{G}_k}{\mathcal{G}_n}. \quad (3.29)$$

Та було визначено максимальне напруження при ударі яке пропонують визначити за допомогою формули

$$\sigma_{max} = \frac{2m\sqrt{2gH}}{St_y} \quad (3.30)$$

де t_y – тривалість удару (час, на протязі котрого відбувається передача кінетичної енергії штемпелю до матеріалу, що ущільнюється).

Забгато авторів при висуванні своїх гіпотез користуються положеннями закону Гука стосовно деформування пружно-пластичних матеріалів, а саме

$$Hn \frac{d\varepsilon}{dt} + E\varepsilon - \sigma - n \frac{d\sigma}{dt} = 0 \quad (3.31)$$

де E, H – тривалий та миттєвий модулі пружності;

σ, ε - напруження та відносна деформація;

$n = \mu/E$ – час релаксації;

μ - в'язкість.

Семеніхін А. М. [159] досліджував процеси ущільнення кормового матеріалу тракторами, а саме яким чином відбувається ущільнення кормової маси у міжколіній або міжмостовій частині трактору. Та отримав наступну залежність, яка вказує на величину відносної деформації в горизонтальній площині:

$$\varepsilon_n = \frac{2l_0}{(L - 2l_0)} \quad (3.32)$$

де L - колія або база енергетичного засобу;

l_0 - параметр тіла укладки.

В роботі Семеніхіна О. В. [164] було запропоновано продовження наведеної вище теорії через використання ешелонного навантаження кормової маси при укладанні у сховища. В результаті вони пропонують оптимальні умови для реалізації запропонованого способу ущільнення за яким необхідно підтримувати необхідний рівень поверхні моноліту, та виставити необхідний геометричний розмір деформації. Для підтримки нульового балансу вакансій

та розріджень поперек ходу трамбувальника та утримання моноліту в положенні, відповідним до проходу опорного елемента, розміщеного по його ходу необхідно реалізувати комбіновану схему із розміщеними геодезичними рівнями, розміщеними по ходу руху.

Відомі роботи в яких були розглянуті і періодичні навантаження. Наприклад у своїй роботі Гуриченко Л. О. [165] окрім впливу важких мобільних заходів торкається проблеми розміщення самих часток кормової маси в моноліті при закладанні та наводить три схеми.

Процес розподілення силосної маси по об'єму сховища супроводжується періодичними навантаженнями гусеницями або колесами поступово нарощуваного шару, який складається з часток кінцевих розмірів, геометричної форми та різноманітної орієнтації.

В точках навантаження, по сліду трамбувальника, частки утворюють розрізнені сукупності, які по різному реагують на деформацію трамбувальника – це релаксуючі, та нерелаксуючі, не пов'язані між собою центри формування. В такому стані кормова маса, що знаходиться у граничних умовах не володіє єдиною структурою, а її міцність буде проявлятися на рівні фрикційних зв'язків, пропорційних до висоти та розмірів часток.

По мірі нарощування висоти шару кількість елементарних сукупностей зростає, відстані між ними зменшуються у меншому ступеню наслідують дефекти вихідних дискретних складових та інтегруючи властивості розрізнених сукупностей кормова маса переходить до наступного граничного рівня, що пов'язує між собою елементарні структури. У цієї структури вже переважають горизонтально розміщені частки. При досягненні висоти шару у 0,8 м та більш 1м його поверхня набуває несучої здібності, яка має міцність τ та σ перекресної щільної укладки, зберігаючи пружно – в'язку природу складових, що її складають.

Таким чином можна сказати, що кормова маса до її ущільнення уявляє собою пружно – в'язке тіло, що складається з багатьох сукупностей, які пев-

ним чином розміщені по його об'єму. Частинки мають розмірні характеристики та здатні мігрувати у зони меншої щільності та між шарами.

Тоді як під дією періодичних навантажень кормова маса змінює свої фізико-механічні та реологічні властивості наближаючись до верхньої межі щільності при мінімальній пористості кінцевого моноліту.

В основі роботи було положено зміну параметрів багатокомпонентних середовищ та їх демпфуючими властивостями, і здібностями поглинати енергію навантажень. Механіка пружно – в'язких середовищ рослинного походження характеризує ці властивості релаксацією напружень, в'язкістю, повзучістю зміна яких функціонально не пов'язана з їх пористістю та щільністю. Тому і була сформульована актуальність цієї роботи.

Враховуючи все вище наведене, можна прийти до висновку, що достатньо багато зроблено у напрямку зменшення пористості, що призведе до зменшення контакту кормової маси із повітрям, однак до тепер ще не було запропоновано достатньо технологічних засобів задля забезпечення ефективного видалення або уникнення пустих прошарків з кормової маси. Тому ми вважаємо за потрібне вдосконалити теоретичні передумови процесу ущільнення кормової маси, і саме у цьому напрямку продовжувати свої дослідження.

3.2.2 Обґрунтування параметрів процесу ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі

Дослідженнями впливу конструктивних та режимних параметрів ущільнювачів на показники якості та енергоємності їх роботи займалися вчені з давніх часів. В цьому напрямку працювали такі науковці, як І. І. Вольф, А. А. Чапкевич, М. А. Пустигін, А. А. Тулинов, С. А. Алфьоров, В. Д. Дутов, Е. І. Храпач, А. А. Григорьев, М. А. Перегожин та ін. Вони досліджували вплив різноманітних технологічних факторів на якість ущільнення стеблових матеріалів. Однак сутності процесу стиснення досягти так і не вдалося [166]. Причому практично всі дослідники дійшли висновку, що основним показником, який характеризує якість пресування кормів є щільність отриманих тюків, брикетів, гранул тощо.

Звісно, що щільність матеріалів, які пресуються, буде збільшуватися при підвищенні тиску на нього. В світлі цього В.І. Особовим було виведено наступну функціональну залежність

$$\frac{dp}{d\rho} = f(p), \quad (3.33)$$

де p – зусилля, що діє на матеріал;

ρ – щільність матеріалу.

Після розв'язання цього рівняння, завдяки інтегруванню лівої та правої частини, було отримано залежність тиску від щільності у явному вигляді

$$p = i(e - 1)\rho = \rho_0 + \frac{1}{\alpha} \quad (3.34)$$

де i - відношення b/a .

Величина $1/\alpha$ уявляє собою прирощення початкової щільності матеріалу при тиску, що дорівнює $C(e - 1)$.

Численні дослідження, які були проведені, дозволили визначити значення коефіцієнтів C та α для багатьох видів кормових культур, таких як степове, злакове та бобове сіно, сінне борошно та солома.

Однак дослідженню підлягали матеріали із незначною вологістю, а саме люцерна (16%), конюшина (16%), сіно степове (16%), тимофіївка (9,35%), солома (10,34%), сінне борошно (14,7%) [166].

В світлі сучасних тенденцій заготівлі та зберігання кормової сировини, зокрема зберігання сінажу та силосу у полімерних рукавах, ущільненню підлягають і матеріали з більшою вологістю. Для напіввологих та вологих матеріалів застосування принципів, що наведені вище, підлягають додатковій теоретичній та експериментальній перевірці.

Мета дослідження. Приймаючи до уваги той факт, що дослідження пресування рослинної сировини підвищеної вологості носить достатньо специфічний характер, що в першу чергу пов'язано із необхідністю збереження початкової вологості в межах 65 - 75%, необхідно створення такої математичної моделі, яка б дозволила врахувати зусилля, що виникають в частинках

рослинної сировини. Це дозволить керувати процесом ущільнення та вивільнення вологи, яка міститься у рослинній сировині та забезпечує процес силосування.

Для зменшення впливу повітря на рослинну сировину під час процесу закладання на зберігання, ми пропонуємо розділити процес пресування на дві операції – підготовчу та основну, за якою вже безпосередньо відбувається закладання рослинної сировини до сховищ. До підготовчої операції ми віднесемо попереднє пресування до рівня досягнення «передкритичного стану», тобто такого стану, при якому рослинна сировина ще не досягає своєї остаточної щільності, але залишків повітря в загальній масі в декілька разів менше. Однак для уникнення процесів релаксації, які спостерігаються в ущільненій масі, ми вводимо основну операцію – структуризацію частинок рослинної сировини. Ця операція дозволить уникнути засмоктування повітря, яке відбувається під час процесів релаксації, переорієнтувати частинки рослинної сировини, що в свою чергу зменшить в них напруження, та уникнути негативних наслідків релаксаційних процесів.

У багатьох задачах, пов'язаних з аналізом взаємодії робочих органів і будь-яких деформаторів з матеріалами і середовищами, виникає необхідність застосування фізичних рівнянь зв'язку напружень із деформаціями. При цьому, такий зв'язок може проявлятися у вигляді істотного впливу пружних, в'язких і пластичних властивостей. Для формалізації матеріалів і середовищ у вигляді моделей з істотним проявом окремих видів цих властивостей існують фундаментальні закони і фізичні рівняння зв'язку напружень з деформаціями (швидкостями деформацій), але при складних видах впливу властивостей, зокрема у випадках, коли проявляються усі три властивості в рівній мірі, моделі зв'язку напружень із деформаціями (швидкостями деформацій) побудовані для деяких випадків, тобто тільки для нормальних або зсувних деформацій. Якщо такі моделі побудовані для повних тензорів напружень і деформацій, то їх застосування в повному вигляді не дозволяє вирішити завдання про пружно-деформований стан середовища або матеріалу через те, що після під-

становки цих фізичних рівнянь в рівняння рівноваги середовища вони стають істотно нелінійними і стають гіперболічними рівняннями в часткових похідних третього порядку.

При суттєвому прояві пластичності для визначення умов пластичної течії матеріалу може бути використаний модифікований критерій переходу в пластичний стан (умова руйнування суцільності) Кулона-Мора [167]

$$k = -\frac{3(\sigma \sin[\phi] + \tau_0 \cos[\phi])}{-3 + \sin[\phi]}, \quad (3.35)$$

де σ - середнє (гідростатичне) напруження;

ϕ - коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу (грунту);

τ_0 - напруження початкового зсуву матеріалу.

Справедливість застосування такого критерію базується на тому, що в матеріали можуть суттєво проявлятися пластичні властивості, характерні для сипкого дискретного середовища, яке формалізує ґрунти в будівельній механіці ґрунтів, а у відповідності з висновками Хаара та Кармана [168, 169], між механікою ґрунтів та теорією пластичності не існує відмінностей із точки зору зв'язків напружень із деформаціями (швидкостями деформацій).

Метою досліджень є знаходження фізичних рівнянь зв'язку напружень із швидкостями деформацій для матеріалу або середовища у яких істотно проявляються пружнов'язкі властивості.

Графічно модель пружнов'язкого матеріалу з таким проявом процесів деформації може бути представлена у вигляді паралельно сполучених елементів Ньютона і Гука (тіло Кельвіна-Фойгта). Для розробки моделі і визначення фізичних рівнянь зв'язку напружень із швидкостями деформацій необхідно ввести поняття інваріантів тензорів напружень, оскільки через величину другого інваріанту девіатора напружень визначається критерій міцності Кулона-мору. Величина другого інваріанту девіатора має вигляд

$$\begin{aligned}
I_{D2} = (s_1s_2 + s_2s_3 + s_1s_3) &= \frac{1}{6}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + \\
&+ (\sigma_3 - \sigma_1)^2) = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + \\
&+ (\sigma_z - \sigma_y)^2 - (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{zy}^2), \quad (3.36)
\end{aligned}$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження;

s_1, s_2, s_3 – різниці між компонентами головних напружень і середнім нормальним напруженням яке визначається як

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z);$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ – компоненти нормальних та зсувних напружень.

Цей інваріант із точністю до постійного множника пов'язаний з інтенсивністю зсувних напружень, які у свою чергу пов'язані із величиною, яка характеризує властивості матеріалу [165-168]

$$\begin{aligned}
\tau_i &= \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{zy}^2)} = \\
&= \frac{\sqrt{2}\sigma}{3} = k \quad (3.37)
\end{aligned}$$

Слід зазначити, що рішення пружно-в'язкопластичних завдань пов'язані з надзвичайними труднощами внаслідок геометричної нелінійності рівнянь. При цьому рішення завдань в'язкопружності дозволяє застосувати методи теорії пружності, оскільки кінцеві рівняння зводяться до системи еліптичних рівнянь, які вирішуються з використанням бігармонічних потенційних рівнянь. Результати рішення завдань методами теорії пружності дозволяють оцінити якісну характеристику протікання процесу, а розбіжність з результатами рішення методами пластичності відрізняється від названих вище не більше ніж 10 % [170]. Тому, на нашу думку, слід використовувати методи теорії пружності, які дозволять отримати нові знання про контактну взаємодію поршня з матеріалом.

Згідно прийнятої моделі (рис. 3.3), внаслідок прикладення навантаження відбувається в'язкопружна деформація матеріалу, при якому із збільшенням швидкості прикладення навантаження швидкість деформації знижується пропорційно коефіцієнту в'язкості. Таку модель прийнято називати моделлю Кельвина-Фойгта. При виведенні рівнянь зв'язку напружень із швидкостями деформації необхідно підсумувати девіаторні складові напружень пружної і в'язкої деформації. Лінійно пружне середовище описується узагальненим законом Гуку.

Компоненти девіаторної складової закону Гуку представляються залежностями

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 3K\varepsilon + 2G(\varepsilon_x - \varepsilon); \quad \sigma_y = 3K\varepsilon + 2G(\varepsilon_y - \varepsilon); \\ \sigma_z &= 3K\varepsilon + 2G(\varepsilon_z - \varepsilon); \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}; \quad \tau_{xz} = G\gamma_{xz}; \quad \tau_{yz} = G\gamma_{yz}, \end{aligned} \quad (3.38)$$

де K – об'ємний модуль пружності, $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$;

E – модуль пружності лінійних деформацій;

G – модуль зсуву, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$;

ν – коефіцієнт Пуассона;

$$\varepsilon = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z), \quad (3.39)$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – компоненти лінійних деформацій;

$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ – компоненти зсувних деформацій.

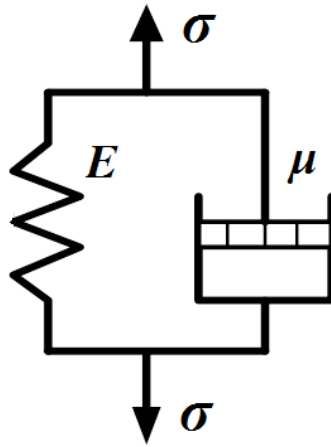


Рис. 3.3 Механічна модель пружнов'язкого середовища.

Залежності (3.38) можуть бути виражені через дві пружні постійні наступним чином

$$\sigma_x = \frac{E(\varepsilon_x(-1+\nu) - (\varepsilon_y + \varepsilon_z)\nu)}{-1+\nu+2\nu^2};$$

$$\sigma_y = \frac{E(\varepsilon_y(-1+\nu) - (\varepsilon_x + \varepsilon_z)\nu)}{-1+\nu+2\nu^2};$$

$$\sigma_z = \frac{E(\varepsilon_z(-1+\nu) - (\varepsilon_y + \varepsilon_x)\nu)}{-1+\nu+2\nu^2};$$

$$\tau_{xy} = \frac{E\gamma_{xy}}{2(1+\nu)}; \tau_{yz} = \frac{E\gamma_{yz}}{2(1+\nu)}; \tau_{xz} = \frac{E\gamma_{xz}}{2(1+\nu)}. \quad (3.40)$$

$$\sigma_x = 2\mu_0(\dot{\varepsilon}_x - \dot{\varepsilon}) + \sigma;$$

$$\sigma_y = 2\mu_0(\dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}) + \sigma;$$

$$\sigma_z = 2\mu_0(\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}) + \sigma, \quad (3.41)$$

де μ_0 – коефіцієнт в'язкості об'ємних деформацій, $\mu_0 = \frac{2}{3} \left(\frac{1+\nu}{1-2\nu} \right) \mu$;

μ – коефіцієнт в'язкості зсувних деформацій;

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{3}(\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z),$$

де $\dot{\varepsilon}_x, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\varepsilon}_z$ – компоненти швидкостей лінійних деформацій.

З урахуванням введених позначень вираз (3.41) прийме вигляд

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{2\mu((-7+11\nu)\dot{\varepsilon}_x - (-2+7\nu)(\dot{\varepsilon}_z + \dot{\varepsilon}_y))}{-9+18\nu}; \\ \sigma_y &= \frac{2\mu((-7+11\nu)\dot{\varepsilon}_y - (-2+7\nu)(\dot{\varepsilon}_z + \dot{\varepsilon}_x))}{-9+18\nu}; \\ \sigma_z &= \frac{2\mu((-7+11\nu)\dot{\varepsilon}_z - (-2+7\nu)(\dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_x))}{-9+18\nu}; \\ \tau_{xy} &= \mu(\dot{\gamma}_{xy}); \tau_{xz} = \mu(\dot{\gamma}_{xz}); \tau_{yz} = \mu(\dot{\gamma}_{yz}).\end{aligned}\quad (3.42)$$

Суми компонент напружень пружної і в'язкої складових можуть бути записані з урахуванням того, що компоненти деформацій і швидкостей деформацій можуть бути переписані у вигляді, зручному для розуміння типу рівнянь і зручному для вирішення рівнянь відносно компонентів деформацій.

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E(\varepsilon_x[t](-1+\nu) - (\varepsilon_y[t] + \varepsilon_z[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\ &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_x[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_y[t] + \varepsilon'_z[t]))}{-9+18\nu}; \\ \sigma_y &= \frac{E(\varepsilon_y[t](-1+\nu) - (\varepsilon_x[t] + \varepsilon_z[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\ &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_y[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_x[t] + \varepsilon'_z[t]))}{-9+18\nu}; \\ \sigma_z &= \frac{E(\varepsilon_z[t](-1+\nu) - (\varepsilon_x[t] + \varepsilon_y[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\ &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_z[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_x[t] + \varepsilon'_y[t]))}{-9+18\nu}; \\ \tau_{xy} &= \frac{E\gamma_{xy}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{xy}[t]); \tau_{yz} = \frac{E\gamma_{yz}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{yz}[t]); \\ \tau_{xz} &= \frac{E\gamma_{xz}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{xz}[t]).\end{aligned}\quad (3.43)$$

Рішення диференціальних рівнянь (3.43) відносно компонент нормальних деформацій прийме вигляд

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x[t] &= \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{aligned} &3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)) + \\ &+ e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(2C[1] - C[2] - C[3]) + \\ &+ E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{aligned} \right); \\
 \varepsilon_y[t] &= \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{aligned} &-3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (-\sigma_y + \nu(\sigma_x + \sigma_z)) - \\ &- e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(C[1] - 2C[2] + C[3]) + \\ &+ E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{aligned} \right); \\
 \varepsilon_z[t] &= \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{aligned} &-3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (\nu(\sigma_x + \sigma_y) - \sigma_z) - \\ &- e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(C[1] + C[2] - 2C[3]) + \\ &+ E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{aligned} \right). \quad (3.44)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 C[1] &= -\frac{\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu\sigma_z}{E}; \quad C[2] = -\frac{-\nu\sigma_x + \sigma_y + \nu\sigma_z}{E}; \\
 C[3] &= -\frac{-\nu\sigma_x + \nu\sigma_y + \sigma_z}{E}. \quad (3.45)
 \end{aligned}$$

З виразів (3.44) компоненти нормальних напружень виражають через компоненти швидкостей нормальних деформацій наступним чином

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -\frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu((-5+7\nu)\dot{\varepsilon}_x - 2(-2+\nu)(\dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z))}{9(-1+\nu)}; \\ \sigma_y &= \frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu(2(-2+\nu)\dot{\varepsilon}_x + (5-7\nu)\dot{\varepsilon}_y + 2(-2+\nu)\dot{\varepsilon}_z)}{9(-1+\nu)}; \\ \sigma_z &= \frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu(2(-2+\nu)\dot{\varepsilon}_x + 2(-2+\nu)\dot{\varepsilon}_y + (5-7\nu)\dot{\varepsilon}_z)}{9(-1+\nu)};\end{aligned}\quad (3.46)$$

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

$$\sigma = \frac{\frac{3EEt}{2e^{2\mu+2\mu\nu}} \mu(1+\nu)(\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z)}{9-18\nu} \quad (3.47)$$

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

$$\tau_{xy} = \frac{Gt}{2e^\mu} \mu \dot{\gamma}_{xy}; \tau_{yz} = \frac{Gt}{2e^\mu} \mu \dot{\gamma}_{yz}; \tau_{xz} = \frac{Gt}{2e^\mu} \mu \dot{\gamma}_{xz}. \quad (3.48)$$

Час деформації, який входить в залежності зв'язку напружень із швидкостями деформацій, може бути визначений за часом поширення хвилі напружень. Швидкість поширення хвилі напружень [170]

$$c = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}}, \quad (3.49)$$

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

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

Час розповсюдження хвилі

$$t = \frac{l}{c} = \frac{l}{\sqrt{\frac{E(-1+\nu)}{(-1+\nu+2\nu)\rho}}}, \quad (3.50)$$

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

Таким чином, рівняння (3.43) поряд із (3.48) визначають напруження стиснення, які діють на елемент сухого тертя та входять в рівняння (3.36).

Методика побудови рішення першої крайової задачі теорії пружності, припускає використання рівнянь зв'язку відносних деформацій з компонентами переміщень (рівнянь Коши) так званих геометричних рівнянь

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; & \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; & \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; & \gamma_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; & \gamma_{zx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, \end{aligned} \quad (3.51)$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$, - компоненти відносних деформацій;

u, v, w - компоненти переміщень точок середовища.

Крім того, у будь-якому випадку рухів середовища повинно виконуватися рівняння динаміки або статички середовища за відсутності значних прискорень елементів цього середовища. Рівняння статички має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0; & \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (3.52)$$

У будь-якому випадку на похилому майданчику в середовищі повинні виконуватися умови на поверхні у вигляді

$$\begin{aligned}
\sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n &= \bar{X}; \\
\sigma_y m + \tau_{yz} n + \tau_{xy} l &= \bar{Y}; \\
\sigma_z n + \tau_{xz} l + \tau_{yz} m &= \bar{Z},
\end{aligned}
\tag{3.53}$$

де $l = \cos(Nx)$, $m = \cos(Ny)$, $n = \cos(Nz)$ – 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 швидкості переміщень в рівняннях (3.51) компоненти $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ будуть замінені 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 (3.46), (3.48).

В загальному випадку процедура пошуку рішення передбачає підстановку компонент рівнянь (3.51) (або їх похідних у часі) в фізичні рівняння (3.47) та у подальшому підстановку отриманих виразів в рівняння (3.52). Таким чином, для випадку геометричної лінійності рівнянь отримують еліптичні рівняння, рішення основних їхніх типів приведені в літературі із математичної фізики [171] та складаються з пошуку рішень із використанням бігармонійних потенційних функцій, які задовольняють умовам на поверхні (3.53). Отримані таким чином функції широко відомі у вигляді рішень Бусінеска, Черрути, а у подальшому отримали розвиток завдяки П. Ф. Попковичу та Нейберу [172-174].

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

У випадку наявності кінематичних умов на поверхні контакту найбільш адекватним є застосування розв'язку у формі Папковича-Нейбера

$$\begin{aligned}
u &= \Phi_x - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial x} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z); \\
v &= \Phi_y - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial y} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z); \\
w &= \Phi_z - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z)
\end{aligned} \tag{3.54}$$

де Φ_x, Φ_y, Φ_z – гармонічні потенціальні функції спадаючі прямо пропорційно відстані від точки контакту. Такі функції можуть бути представлені у вигляді потенціалів подвійного шару

$$\begin{aligned}
\Phi_x &= \int_{\eta_{\min}}^{\eta_{\max}} \int_{\zeta_{\min}}^{\zeta_{\max}} k \frac{u_0((y-\eta)+(z-\zeta))}{((x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-\zeta)^2)^{3/2}} d\zeta d\eta; \\
\Phi_y &= \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \int_{\zeta_{\min}}^{\zeta_{\max}} k \frac{v_0((x-\xi)+(z-\zeta))}{((x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-\zeta)^2)^{3/2}} d\zeta d\xi; \\
\Phi_z &= \int_{\eta_{\min}}^{\eta_{\max}} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} k \frac{w_0((x-\xi)+(y-\eta))}{((x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-\zeta)^2)^{3/2}} d\xi d\eta,
\end{aligned} \tag{3.55}$$

де k – коефіцієнт, що забезпечує значення функції відповідне u_0, v_0, w_0 при $x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0$.

Кінематика руху поршня (попереднього ущільнення).

Кінематика руху поршня та подальші розрахунки щодо процесів ущільнення у горизонтальному клиноподібному каналі буде відбуватися згідно рис. 3.4.

Форма поверхні пресу має вигляд

$$\zeta = a \xi^\beta; \quad \xi = \left(\frac{\zeta}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}}, \tag{3.56}$$

де ζ, ξ координати поверхні преса.

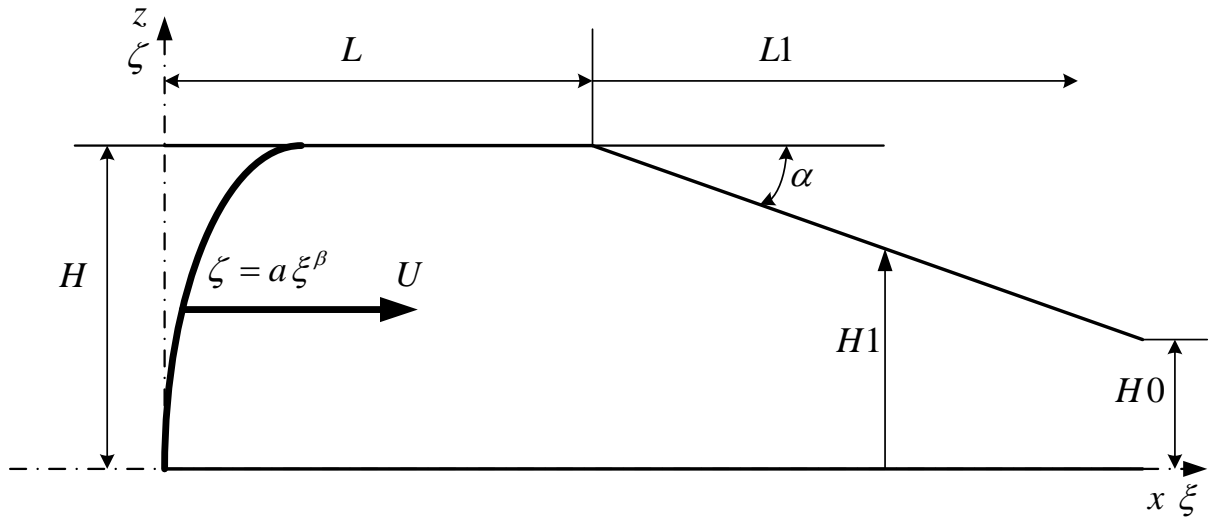


Рис. 3.4 – Розрахункова схема процесу ущільнення рослинної сировини в пресі попереднього ущільнення: H , $H1$, $H0$ – відповідно висота шару на прямолінійній ділянці, в клиноподібній ділянці та на виході з пресу попереднього ущільнення, м; L , $L1$ – відповідно довжина прямолінійної та клиноподібної ділянки пресу попереднього ущільнення, м; α – кут нахилу верхньої стінки камери ущільнення, рад.; U – швидкість руху поршня, мм/с; ζ , ξ – координати поверхні преса.

Нажаль таке представлення форми поршня у вигляді криволінійної поверхні не дозволяє в подальшому інтегрувати бігармонійні потенційні функції, тому спростимо вигляд поршня до плоскої поверхні, тобто при умові:

$$\beta=1, \text{ тоді } \zeta = a \xi; \xi = \left(\frac{\zeta}{a} \right);$$

При цьому система координат $\zeta o \xi$ співпадає з системою координат $x o z$ на початку руху преса. Тобто система координат $\zeta o \xi$ взагалі є рухомою відносно системи $x o z$.

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

Значення гармонічних потенціальних функцій з урахуванням проєкцій 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 матимуть наступний вигляд

на ділянці без звуження

$$F_{x0} = \frac{k u_{x0}(H+z-\zeta)}{(H+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}; F_{z0} = \frac{k w_{x0}(H+z-\zeta)}{(H+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}, \quad (3.57)$$

де u_{x0}, w_{z0} - проекції початкових швидкостей поршня на вісі координат;

H, L - висота камери та її довжина на ділянці без звуження.

на ділянці звуження

$$F_{xL} = \frac{k l u_{xL}(Hl+z-\zeta)}{(Hl+z-\zeta)^2 + (Ll+x-\xi)^2}; F_{zL} = \frac{k l w_{xL}(Hl+z-\zeta)}{(Hl+z-\zeta)^2 + (Ll+x-\xi)^2}, \quad (3.58)$$

де u_{xL}, w_{zL} - проекції початкових швидкостей матеріалу в зоні початку звуження на вісі координат;

Hl, Ll - висота камери та її довжина на ділянці звуження.

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

$$\Delta^2 = \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 F}{\partial z^4} = 0, \quad (3.59)$$

де Δ - оператор Лапласа.

Напрявні косинуси поверхні поршня матимуть вигляд

$$l = \cos\left[\frac{\pi}{2} - \arctan[\partial_\xi(a\xi)]\right]; n = \cos\left[\frac{\pi}{2} - \arctan[\partial_\zeta(\zeta/a)]\right];$$

$$l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}; n = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{a^2}a}}. \quad (3.60)$$

Аналіз бігармонійних потенційних функцій свідчить, що при умові розв'язання рівнянь

$$u_{x0} = \frac{k u_{x0}(H + z - \zeta)}{(H + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \text{ при } H = z;$$

$$w_{x0} = \frac{k w_{x0}(H + z - \zeta)}{(H + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \text{ при } H = z$$

$$k = 4\pi(H - z).$$

$$u_{xL} = \frac{k u_{xL}(H1 + z - \zeta)}{(H1 + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \text{ при } H1 = (L - x)\tan[\alpha] = z;$$

$$w_{xL} = \frac{k w_{xL}(H + z - \zeta)}{(H1 + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \text{ при } H1 = (L - x)\tan[\alpha] = z$$

$$k1 = 4\pi(L - x), \quad (3.61)$$

де α - кут нахилу верхньої стінки камери.

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

$$\Phi_x = \int_0^H \frac{k u_{x0}(H + z + \delta - \zeta)}{(H + z + \delta - \zeta)^2 + (L + x + \delta - \xi)^2} d\zeta;$$

$$\Phi_z = \int_0^{\xi_{max}} \frac{k u_{z0}(H + z + \delta - \zeta)}{(H + z + \delta - \zeta)^2 + (L + x + \delta - \xi)^2} d\xi. \quad (3.62)$$

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

Після інтегрування отримаємо

$$\Phi_x = \frac{aHkU(-H^2 + H(ax - z) + 2axz)}{(H^2 + x^2 + 2Hz + z^2)(H^2 - 2aHx + a^2(x^2 + z^2))};$$

$$\Phi_z = \frac{aHkU(-a(x - z)(x + z) + H(x + az))}{\sqrt{1 + a^2}(H^2 + x^2 + 2Hz + z^2)(H^2 - 2aHx + a^2(x^2 + z^2))}. \quad (3.63)$$

Графічно вигляд функцій при $U=0,00003$ м/с, $H=0,2$ м, $L=1$ м, $a=0$ рад. наведений на рис. 3.5.

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

$$w = \Phi_z - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_x + z\Phi_z).$$
(3.64)

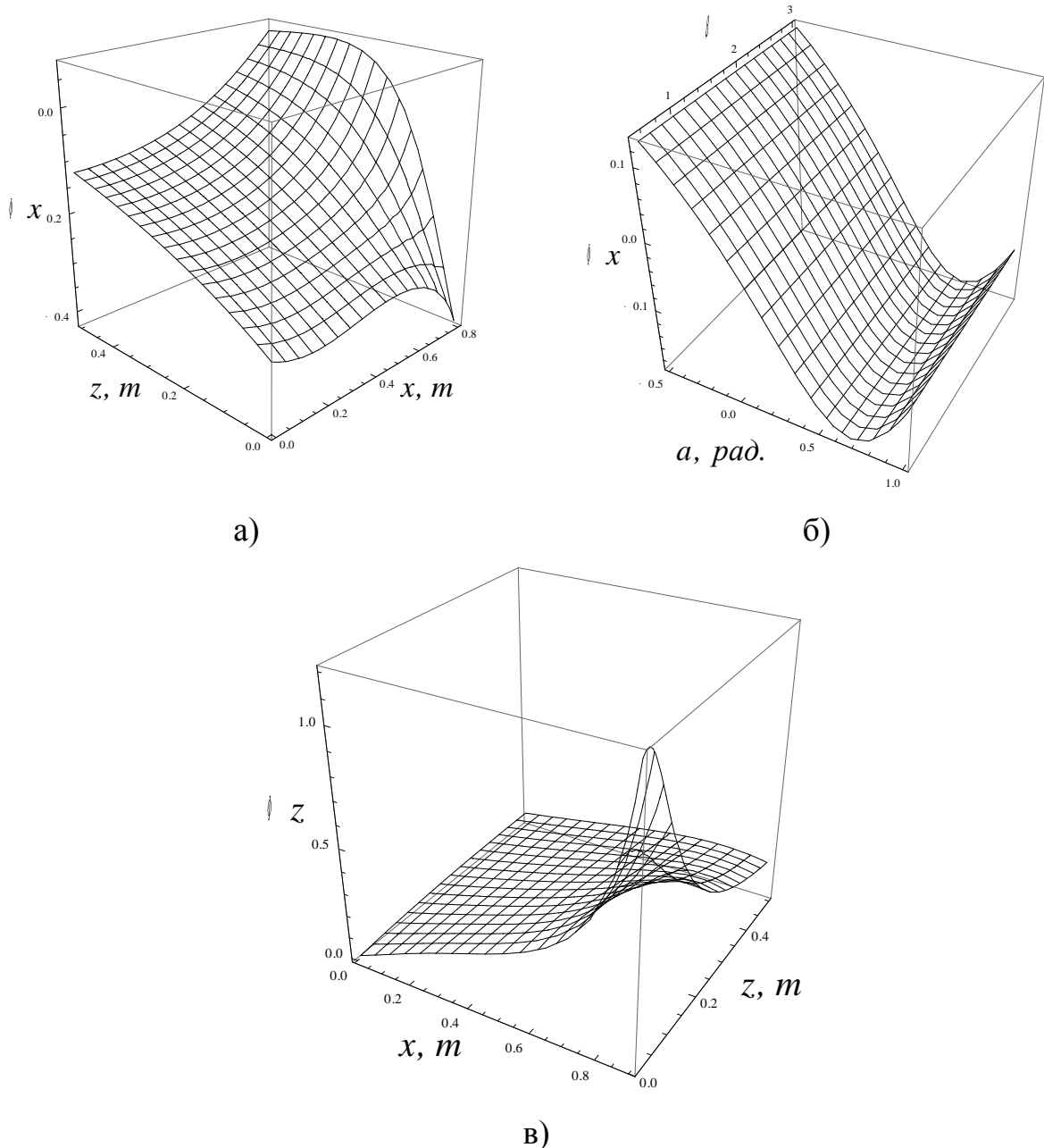


Рис. 3.5 – Графічне представлення розв’язку функцій Попковича – Нейбера по осях x і z (а, в) та від кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α і коефіцієнту ущільнення β (в).

Числові значення компонент швидкостей розраховані у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх рішення має громіздкий вигляд, то вони не приводяться в даній роботі. Графічно ці залежності наведено на рис. 3.6.

Аналіз поверхонь надає чітку уяву про зменшення величини компонент швидкостей у вертикальній площині із зростанням розміщення шару матеріалу (рис. 3.6 а), тоді як у вертикальній площині розподіл компонент швидкостей вказує на зміну напрямку руху із переміщенням поршня, що відбувається завдяки спрямовуючій дії похилої верхньої стінки камери ущільнення (рис. 3.6 в)

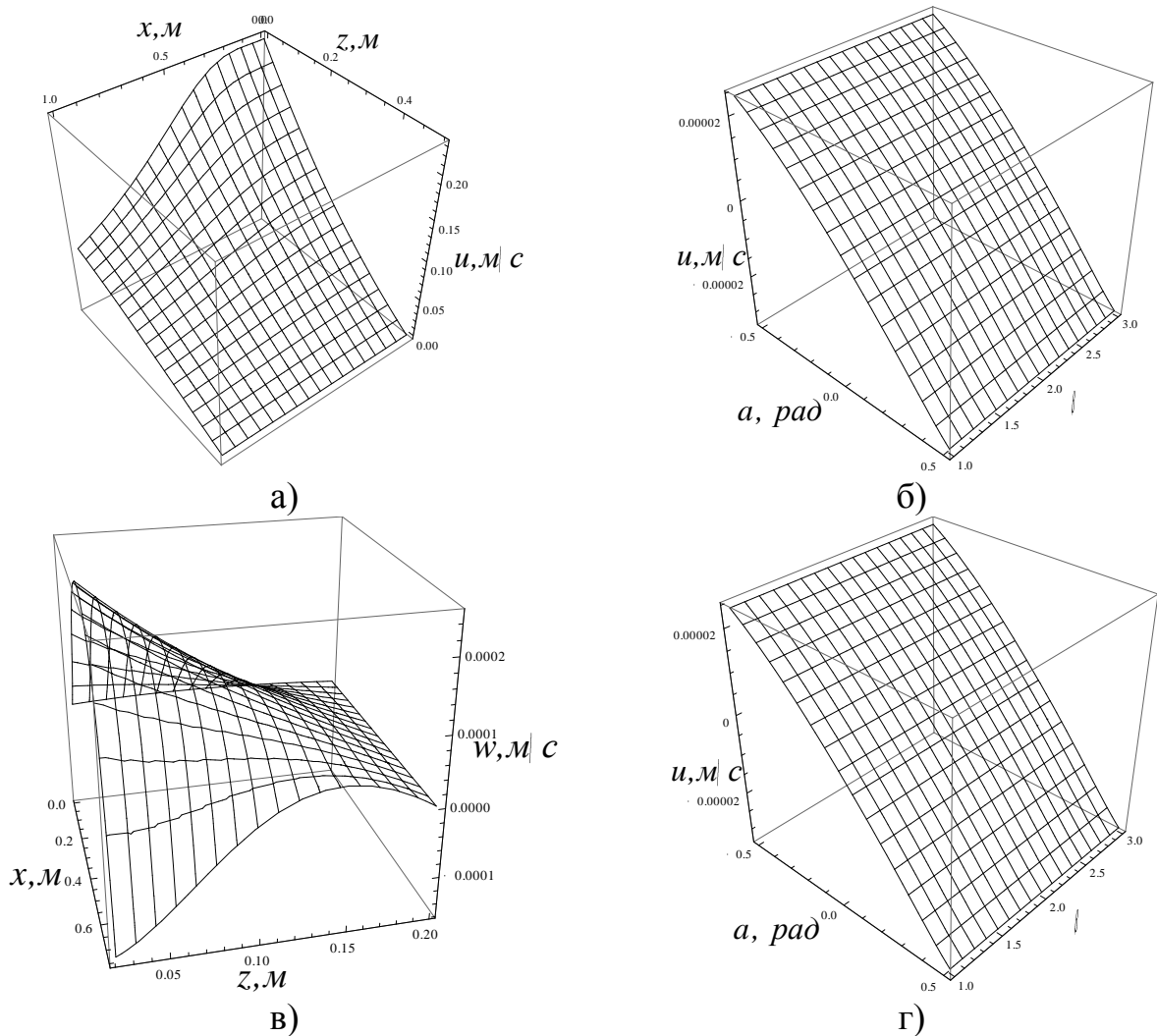


Рис. 3.6 – Графічне представлення горизонтальних компонент швидкостей по осях x і z (а) від кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α і коефіцієнту ущільнення β (б) та вертикальних компонент швидкостей по осях x і z (в) від кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α і коефіцієнту ущільнення β (г).

Компоненти нормальних та зсувних швидкостей деформацій матеріалу визначаються з залежностей

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \dot{\gamma}_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}. \quad (3.65)$$

Числові значення компонент нормальних та зсувних деформацій матеріалу розраховані у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх рішення має громіздкий вигляд, то вони не приводяться в даній роботі. Графічно залежності представлені на рис. 3.7 та 3.8

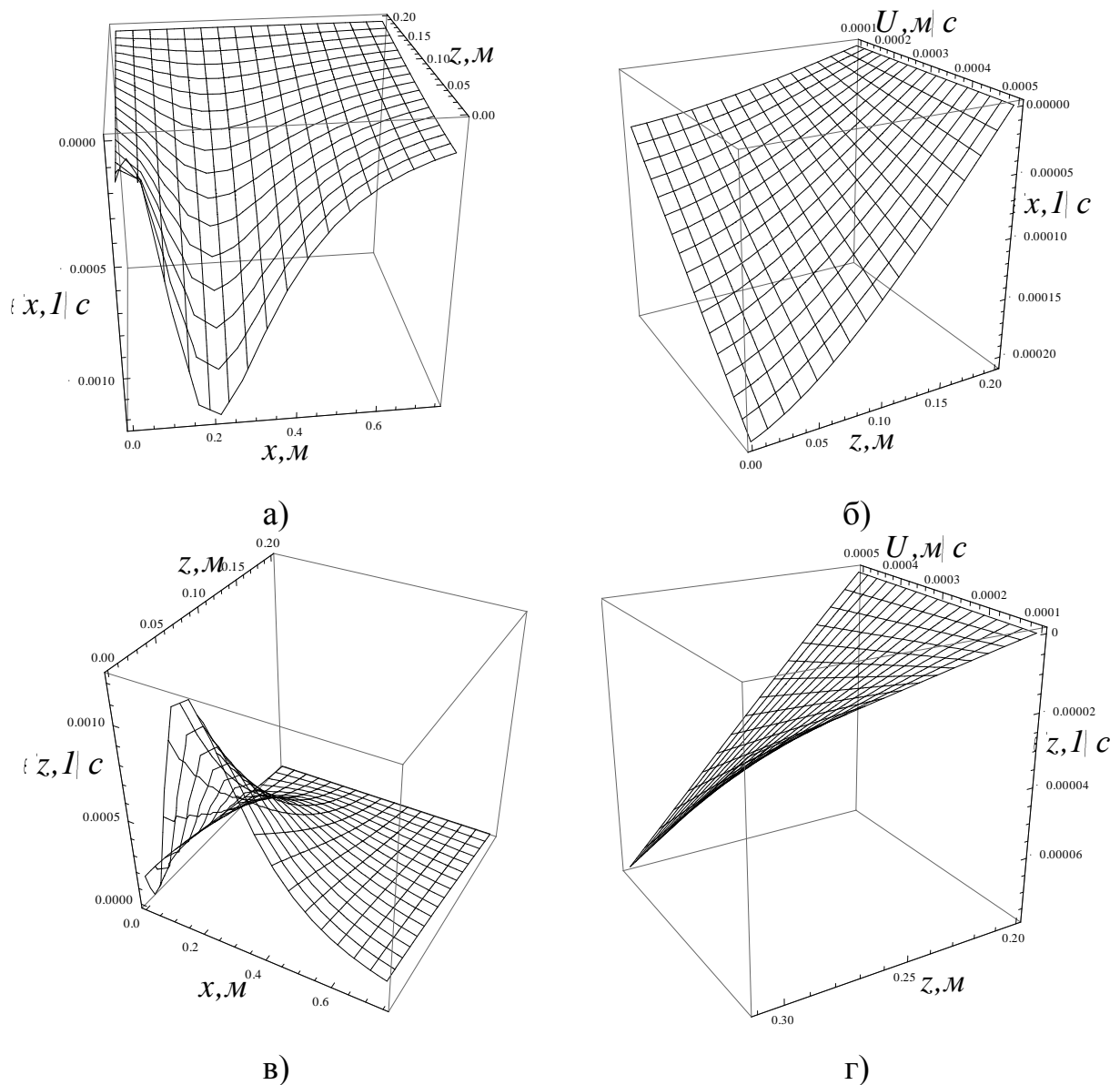


Рис. 3.7 – Графічне зображення компонент нормальних швидкостей деформацій матеріалу у горизонтальній площині (а, б) та вертикальній площині (в, г)

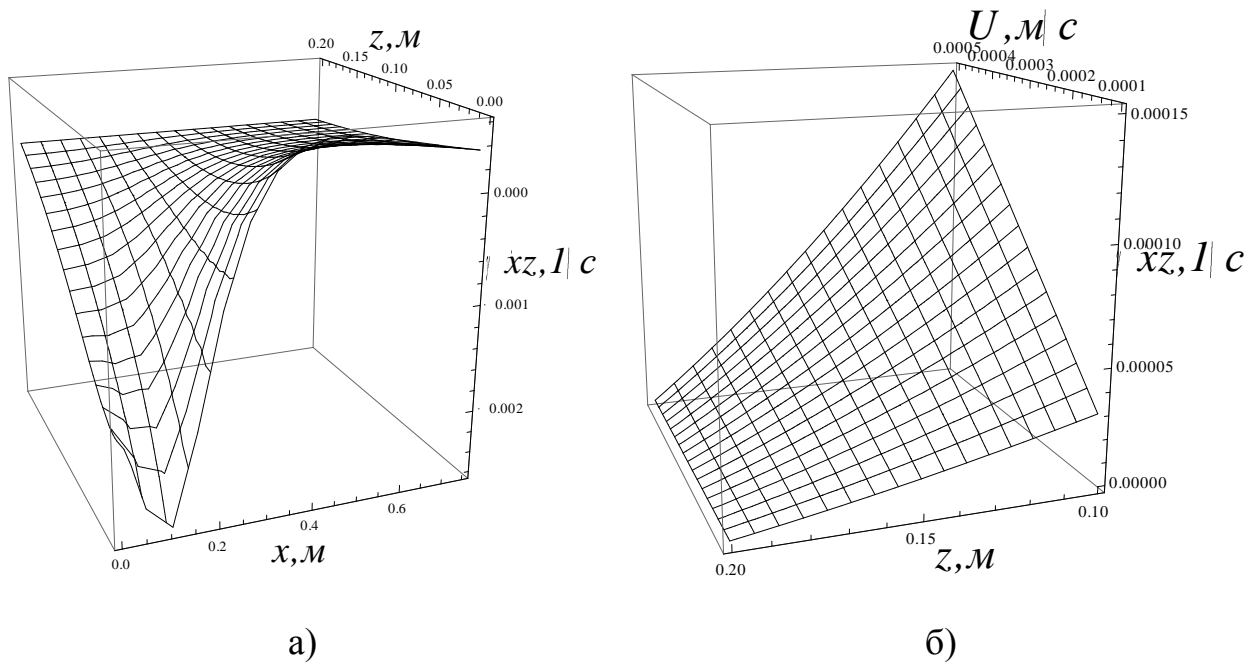


Рис. 3.8 – Графічне зображення компонент зсувних швидкостей деформації по вісях x та z (а), і відносно швидкості руху поршня (б).

При побудові наведених вище графіків були застосовані наступні початкові умови $\alpha = 0$, $\beta = 3$ рад, $x = 1$ м, $a = 0,2$ м, $H = 0,2$ м, $L = 1$ м.

Компоненти напружень на ділянці без звуження потоку визначаються залежностями

$$\sigma_x = -\frac{\frac{Gt}{e^\mu} \mu((-5 + 7\nu)\dot{\epsilon}_x - 2(-2 + \nu)(\dot{\epsilon}_z))}{9(-1 + \nu)};$$

$$\sigma_z = \frac{\frac{Gt}{e^\mu} \mu(2(-2 + \nu)\dot{\epsilon}_x + (5 - 7\nu)\dot{\epsilon}_z)}{9(-1 + \nu)};$$

$$\tau_{xz} = 2e^\mu \mu \dot{\gamma}_{xz}. \quad (3.66)$$

Час деформування визначався за залежністю, що впливає зі швидкості проходження хвилі пружних деформацій $t = \frac{x}{c} = x / \sqrt{\frac{E(-1 + \nu)}{(-1 + \nu + 2\nu^2)\rho}}$, ρ – щільність матеріалу.

Числові значення компоненти напружень для ділянки без звуження розраховані у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх рішення має громіздкий вигляд, то вони не приводяться в даній роботі.

На межі переходу камери пресування до звуженої частини ($x = L$, де L - довжина прямої частини камери) компоненти напружень графічно представлені на рис. 3.9

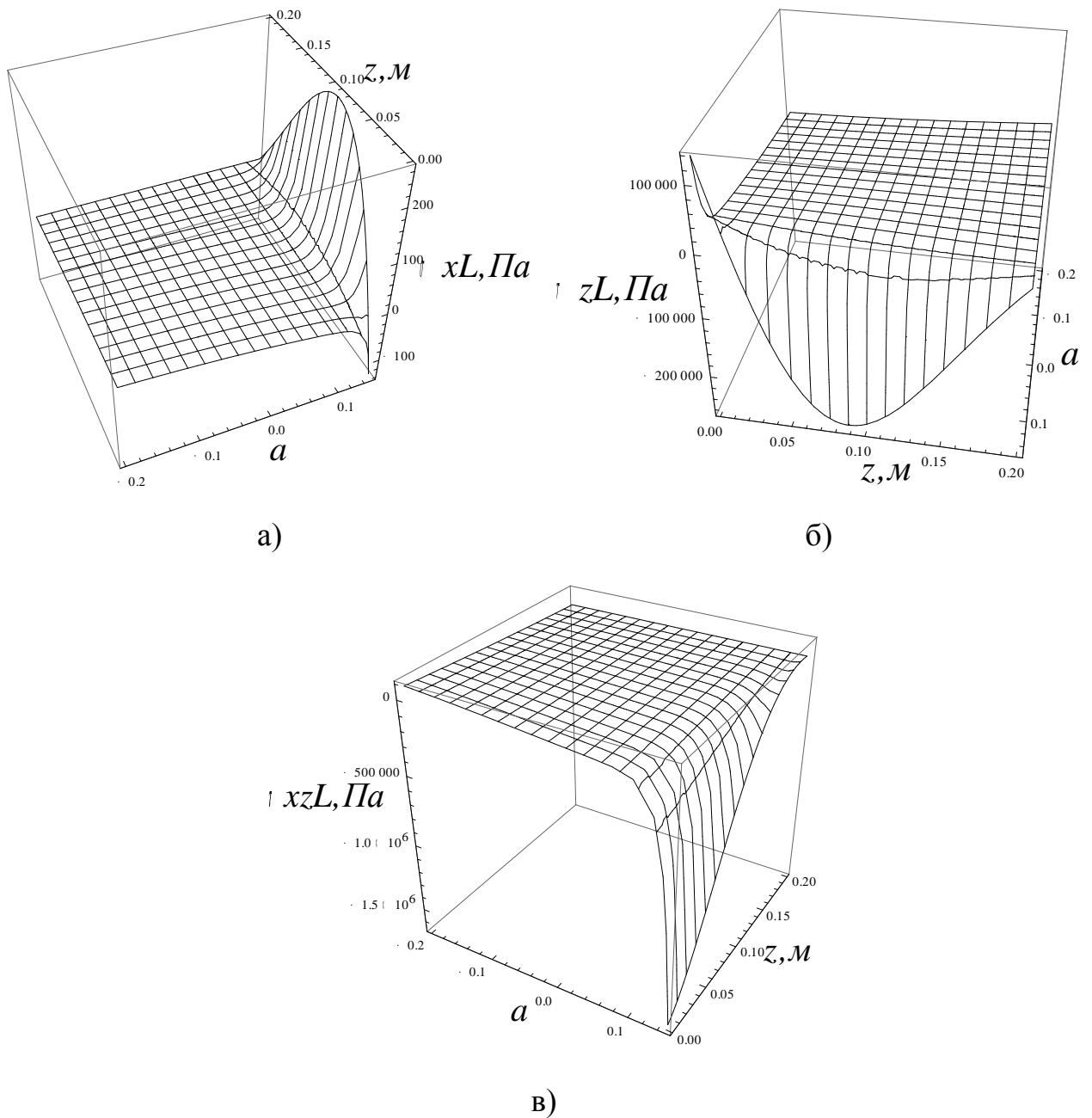


Рис. 3.9 – Графічне зображення поля напружень на початковому етапі до звуження ущільнювальної камери.

Наведені вище графіки будувалися при наступних початкових умовах: $\alpha = 0$, $\beta=3$, $H=0,2\text{м}$, $L=1\text{м}$, $\rho=150\text{ кг/м}^3$, $E=10^5$, $\mu=32\text{Па}\cdot\text{с}$, $U=0,003\text{ м/с}$.

Аналіз представлених графіків свідчить про збільшення величини нормальних складових напружень в горизонтальній площині (рис. 3.9 а) при зменшенні кута нахилу ущільнюючого поршня та зменшення висоти шару, що пояснюється більшим ущільненням нижньої частини із впливом зростаючої за висотою маси матеріалу. Тоді як в вертикальній площині спостерігається вплив зусиль тертя по боковинах, що пояснює менші значення компонентів напружень в середній частині (рис. 3.9 б). Значний сплеск негативних значень при зображенні тангенціальних складових напружень з'являється при позитивному збільшенні кута нахилу ущільнюючого поршня, що і впливає на негативне їх значення (рис. 3.9 в).

Ущільнення матеріалу в кінці прямолінійної частини камери стиснення може бути визначено за залежністю

$$\rho = \rho_0 + b \ln[\sqrt{\sigma_m^2} (1 + \tau_{xz})] , \quad (3.67)$$

де $\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{3}$ - гідростатичне напруження (графічне зображення

наведене на рис. 3.10);

ρ_0 - початкова щільність матеріалу;

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

Для кінця прямолінійної ділянки камери стиснення, тобто при $x = L$ щільність матеріалу виражається кінцевою залежністю, числове вирішення якої розраховано у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки його рішення має громіздкий вигляд, то воно не приводиться в даній роботі. Оскільки їх вигляд громіздкий, то їх графічна інтерпретація наведена на рис. 3.11, 3.12. Аналіз приведених поверхонь свідчить про зменшення гідростатичного напруження в матеріалі із збільшенням висоти розміщення шару ущільнюваного матеріалу.

лу, також великий вплив оказує форма поверхні поршня пресу попереднього ущільнення.

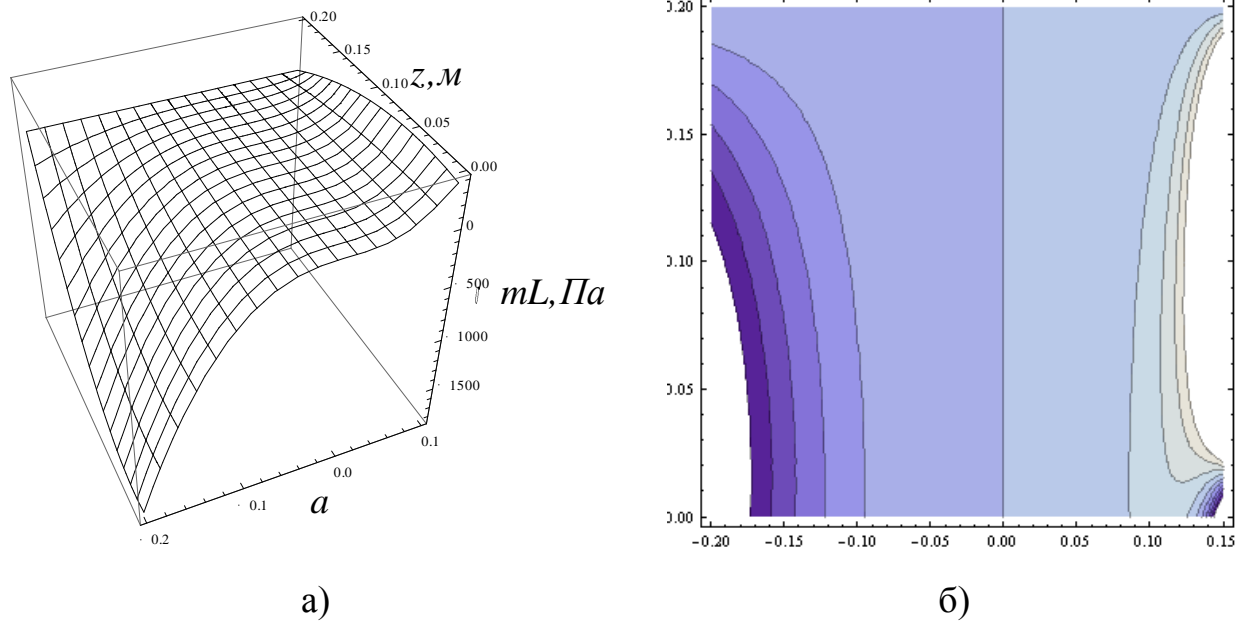


Рис. 3.10 – Графічне представлення функції гідростатичного напруження в залежності від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a , і висоти за віссю z (а) та горизонтальний перетин поверхні (б).

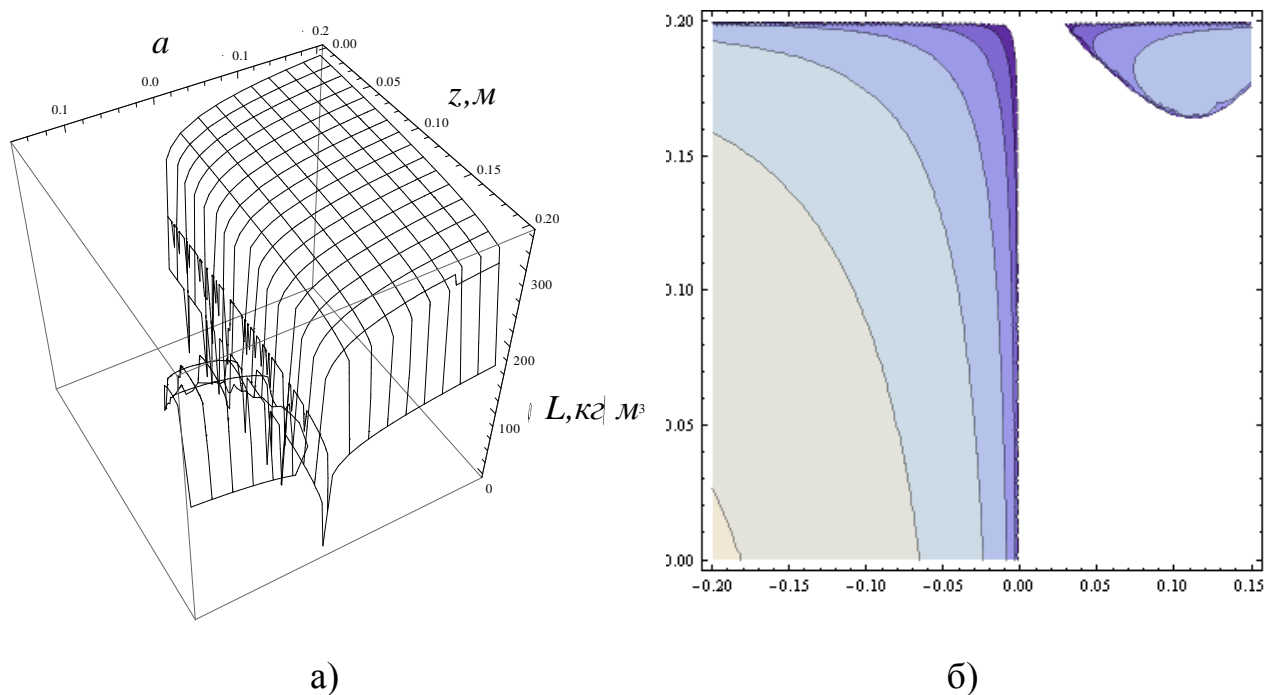


Рис. 3.11 – Графічне представлення розподілення щільності матеріалу в кінці прямолінійної ділянки камери стиснення в залежності від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a та за висотою по осі z (а), і горизонтальний перетин графіку поверхні (б).

Розподіл щільності має тенденцію збільшення із зменшенням висоти розташування шару матеріалу, це пов'язано із накопичення маси та так званім ефектом самоущільнення. Швидкість руху фактично не впливає на кінцеві результати ущільнення матеріалу.

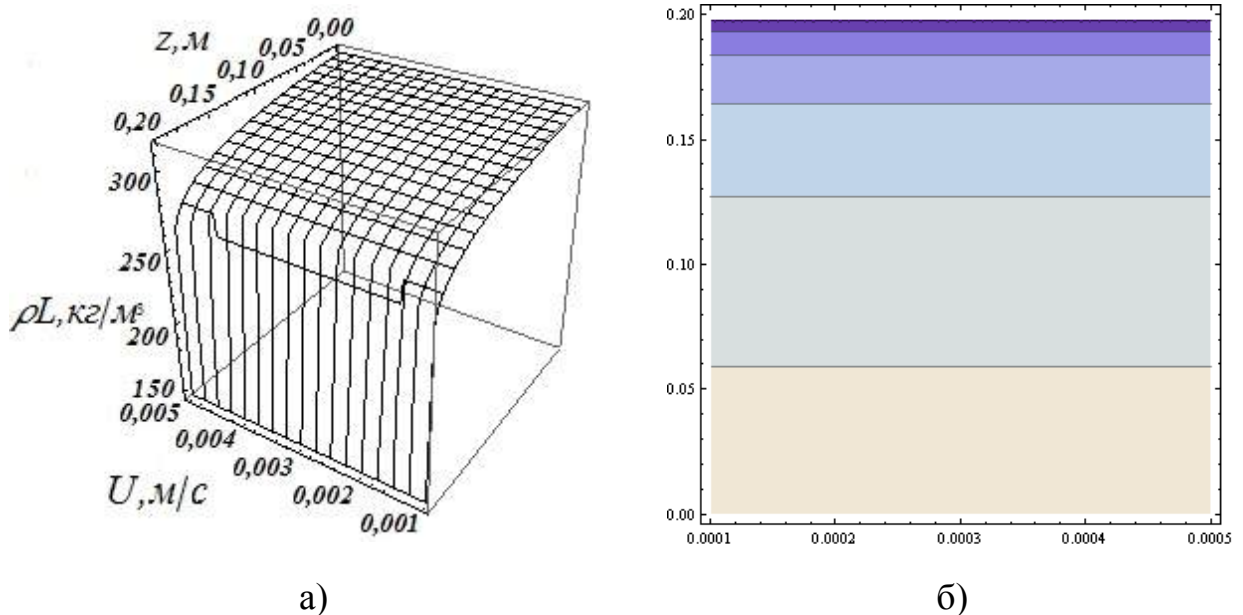


Рис. 3.12 – Графічне представлення розподілення щільності матеріалу в кінці прямолінійної ділянки камери стиснення в залежності від швидкості руху ущільнюючого поршня U та за висотою по осі z (а), і горизонтальний перетин графіку поверхні (б).

При побудові представлених вище графіків застосовували наступні початкові умови: $\alpha = 0$, $\beta = 3$ рад, $H = 0,2$ м, $L = 1$ м, $\rho_0 = 200$ кг/м³, $E = 10^5$, $\mu = 32$, $U = 0,003$ м/с.

Проекції сил, що діють з боку матеріалу на поршень преса визначені за залежностями рівноваги на поверхні

$$P_x = H B (\sigma_x l + \tau_{xz} n), \text{ при } \left\{ l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = 1 / \sqrt{1 + \frac{1}{a^2} a}, x = L \right\}; \quad (3.68)$$

$$P_z = H B (\sigma_z l + \tau_{xz} n), \text{ при } \left\{ l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = 1 / \sqrt{1 + \frac{1}{a^2} a}, x = L \right\},$$

де B - ширина камери стиснення.

Для кінця прямолінійної ділянки камери стиснення, тобто при $x = L$ проекції сил, що діють з боку матеріалу виражається кінцевою залежністю,

числове вирішення якої розраховано у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.13, 3.14.

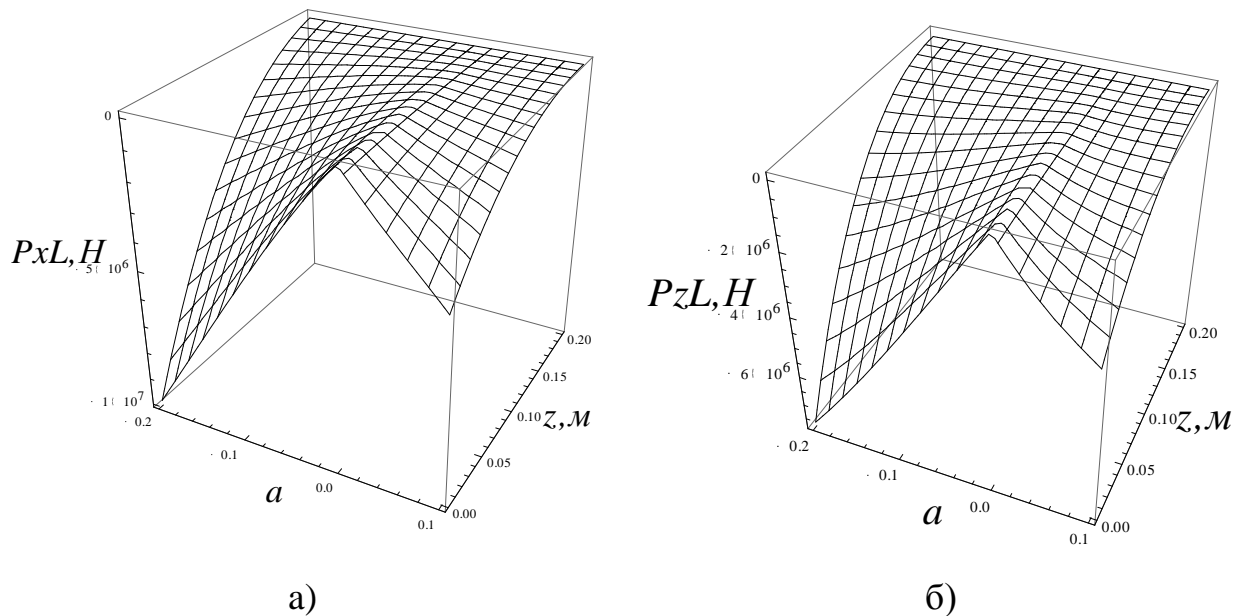


Рис. 3.13 – Графічне представлення залежності зусиль, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a та за висотою по вісі z : а) проєкції зусиль на вісь x ; б) проєкції зусиль на вісь z .

Аналіз графіків показує про таку ж саму тенденцію, а саме: при положенні ущільнюючого поршня суто у вертикальному положенні розподіл зусиль більш рівномірний ніж при будь-якому відхиленні, яке відображене у збільшенні зусиль із боку матеріалу відповідно або у верхній частині або у нижній частині.

Після аналізу графіків слід відмітити чіткий вплив швидкості руху на зусилля, що діють на ущільнюючий поршень збоку матеріалу. Наведені вище графічні залежності будувалися при наступних початкових умовах: $\alpha = 0^\circ$, $\beta=3$, $H=0,5\text{ м}$, $L=1\text{ м}$, $\rho_0=150\text{ кг/м}^3$, $E=10^9$, $\mu=10^5$, $U=0,3\text{ м/с}$, $V=0,5\text{ м}$.

Рівнодійна сила опору виглядає наступним чином

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (3.69)$$

Для кінця прямолінійної ділянки камери стиснення, тобто при $x = L$ проєкції сил, що діють з боку матеріалу виражається кінцевою залежністю,

числове вирішення якої розраховано у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.15

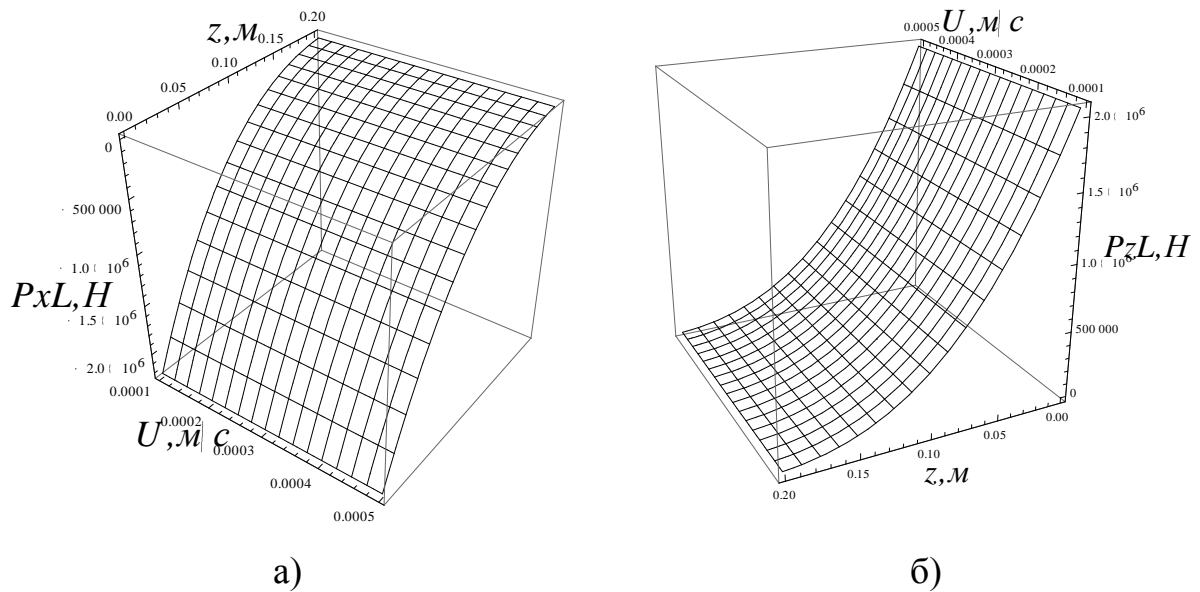


Рис. 3.14 – Графічне представлення залежності зусиль, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень від швидкості руху ущільнюючого поршня U та за висотою по вісі z : а) проєкції зусиль на вісь x ; б) проєкції зусиль на вісь z .

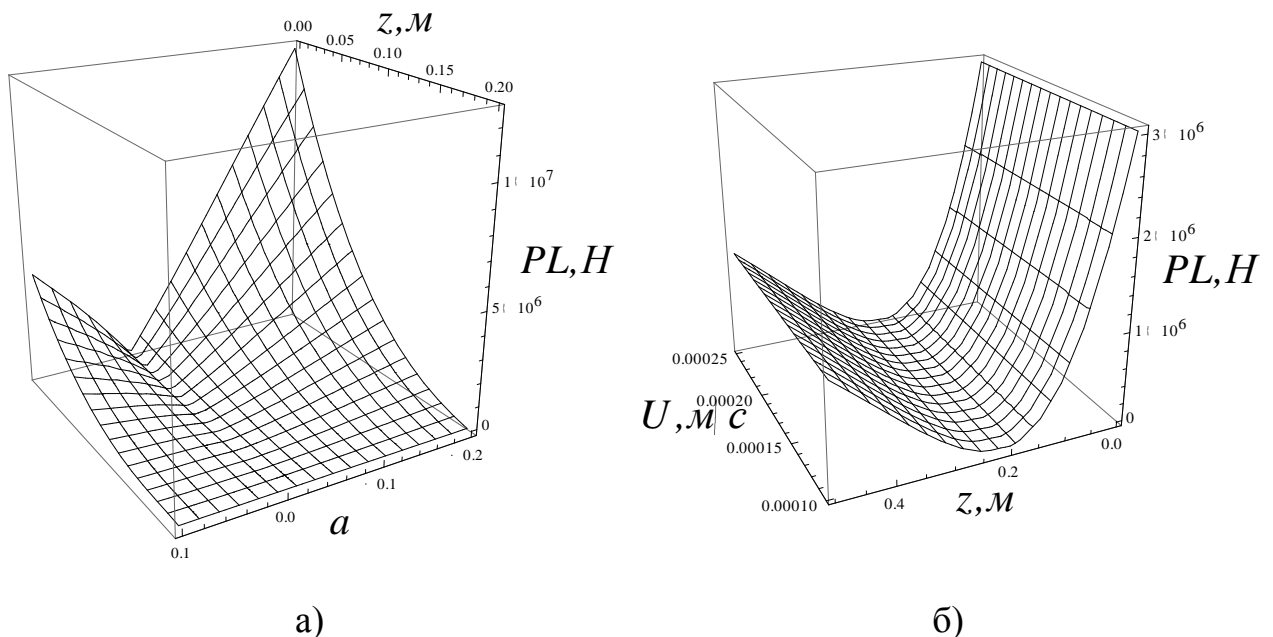


Рис. 3.15 – Графічне представлення залежності рівнодійної зусиль опору, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень від висоти розміщення шару за віссю z та коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а), і від швидкості руху ущільнюючого поршня U та за висотою по осі z (б).

Витрата енергії на рух та ущільнення маси на ділянці до звуження складе

$$A = \int_0^L P dx, \quad (3.70)$$

Розгорнуте рішення представленої залежності реалізовано у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.16.

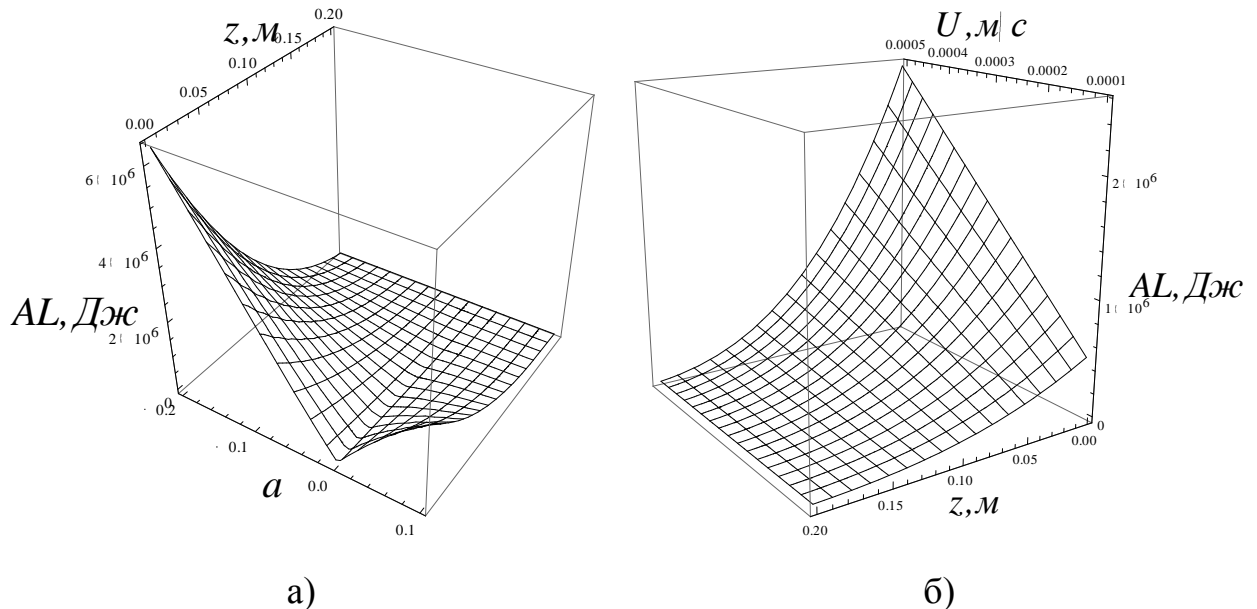


Рис. 3.16 – Графічне представлення залежності енергії витраченої на рух та ущільнення матеріалу від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a та висоти по вісі z (а), і від швидкості руху ущільнювального поршня U (б).

Представлені вище графічні залежності будувалися при наступних початкових умовах: $H=0,5\text{ м}$, $L=1\text{ м}$, $\rho_0=200\text{ кг/м}^3$, $E=10^5$, $\mu=30$, $U=0,0003\text{ м/с}$, $V=0,3\text{ м}$.

Аналіз представлених поверхонь (рис. 3.16 а) свідчить про збільшення витрат енергії на нижніх шарах розміщення матеріалу та менших витрат енергії при вертикально розміщеному поршні. Також суттєвий вплив на витрати енергії оказує швидкість руху поршня зі збільшенням якої суттєво зростають витрати енергії на ущільнення (рис. 3.16 б).

Ділянка ущільнювальної камери із звуженням.

Бігармонійні потенційні функції, що входять до розв'язку у вигляді Папковича-Нейбера

$$\Phi_{xL} = \int_0^{H1} \frac{k1u_{L0}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2} d\zeta;$$

$$\Phi_{xL} = \int_L^{Lk} \frac{k1w_{L0}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2} d\xi;$$
(3.71)

де u_{L0}, w_{L0} - компоненти швидкостей маси в зоні контакту з поршнем на початку ділянки звуження $x = L$, що отримані вище (3.64).

Швидкості переміщень маси на ділянці звуження будуть виглядати наступним чином

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

$$w_{L1} = \Phi_{zL} - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_{xL} + z\Phi_{zL}).$$
(3.72)

Розгорнутий вигляд залежності та числове її вирішення представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.17 - 3.20.

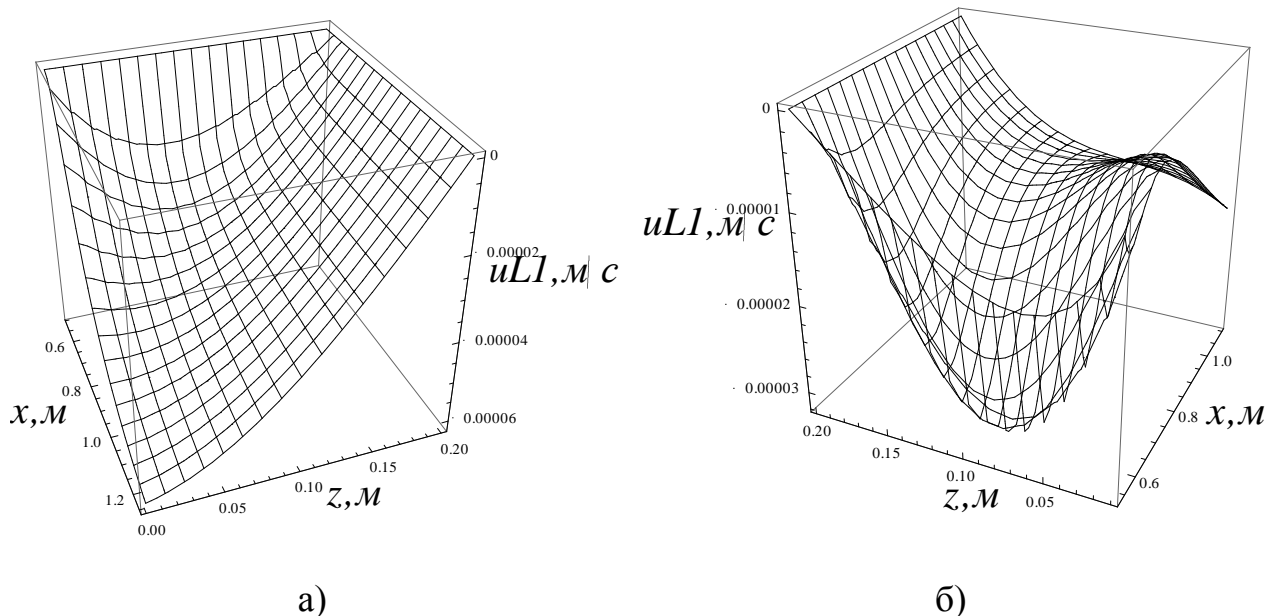


Рис. 3.17 – Графічне представлення швидкостей переміщення матеріалу у горизонтальній площині на ділянці звуження при різних значеннях кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення: а) $\alpha = \pi/3$; б) $\pi/9$.

Аналізуючи наведені вище графіки (рис. 3.17) слід зазначити, що швидкість переміщення матеріалу збільшується із зменшенням кута нахилу верхньої стінки ущільнюючої камери та із збільшенням висоти розташування шару матеріалу, що ущільнюється.

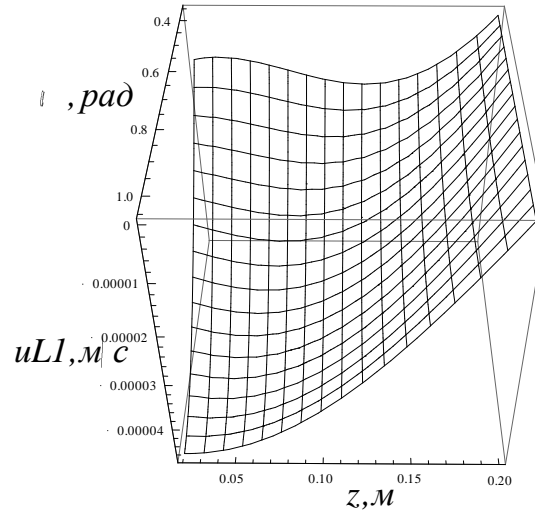


Рис. 3.18 – Графічне представлення швидкостей переміщення матеріалу у горизонтальній площині на ділянці звуження при різних значеннях кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α та за висотою по вісі z .

Приведені вище графіки залежностей побудовані за наступних початкових умов: $\alpha = \pi/9$, $a = -0,2$, $k = 4\pi(H-z)$, $H = 0,2\text{ м}$, $L = 1\text{ м}$, $U = 0,0003\text{ м/с}$.

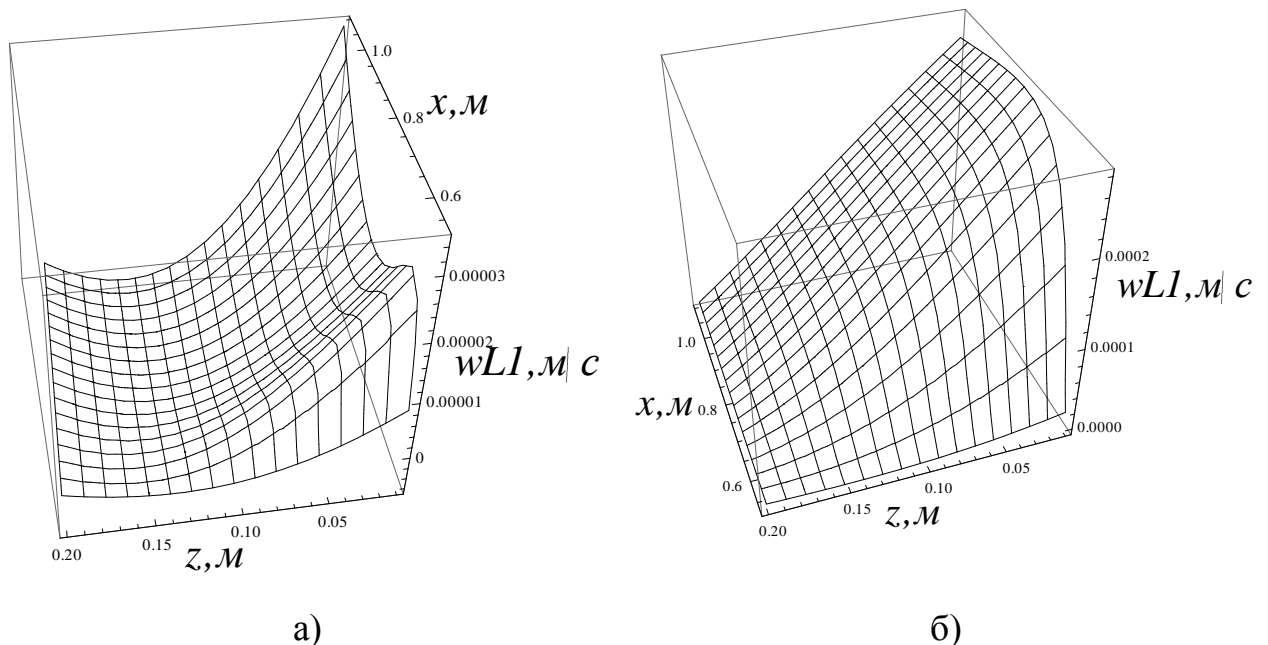


Рис. 3.19 – Графічне представлення швидкостей переміщення матеріалу у вертикальній площині на ділянці звуження при різних значеннях кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення: а) $\alpha = \pi/3$; б) $\pi/9$.

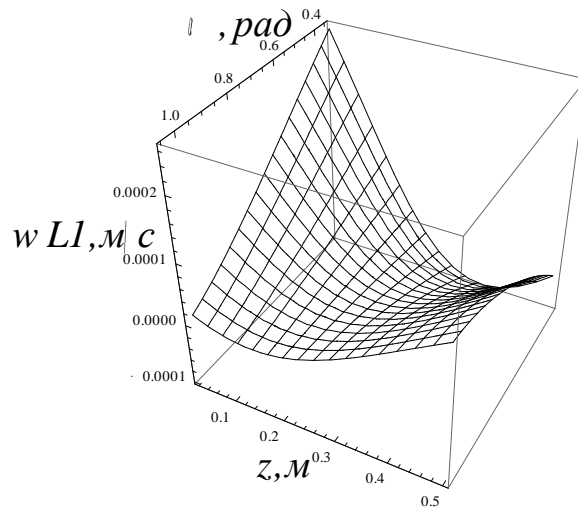


Рис. 3.20 – Графічне представлення швидкостей переміщення матеріалу у вертикальній площині на ділянці звуження при різних значеннях кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α та за висотою по вісі z .

Деформації на ділянці звуження розраховують за наступними виразами

$$\varepsilon_{xL1} = \frac{\partial u_{L1}}{\partial x}; \varepsilon_{zL1} = \frac{\partial w_{L1}}{\partial z}; \gamma_{xzL1} = \frac{\partial u_{L1}}{\partial z} + \frac{\partial w_{L1}}{\partial x}. \quad (3.73)$$

Розгорнутий вигляд залежності та її числове вирішення представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.21 – 3.23.

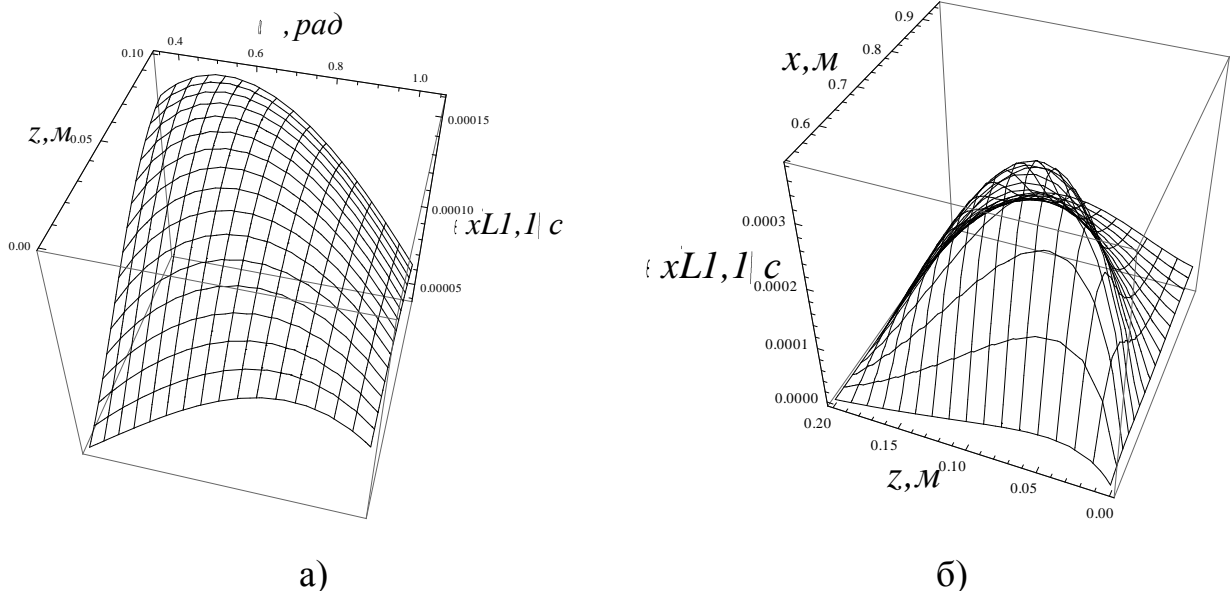


Рис. 3.21 – Графічне зображення розподілу напружень у горизонтальній площині в залежності від кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (а) та довжиною каналу x (б).

При аналізі деформацій на ділянці звуження у горизонтальній площині слід зауважити, що їх найбільше значення досягається на висоті розміщення шару матеріалу в 0,12 м, також деформації збільшуються із зростанням кута нахилу (рис. 3.21 а). Також слід зазначити, що у продовж процесу пресування деформації збільшуються і мають найбільшу величину на тій самій висоті у 0,12-0,13м (рис. 3.21 б).

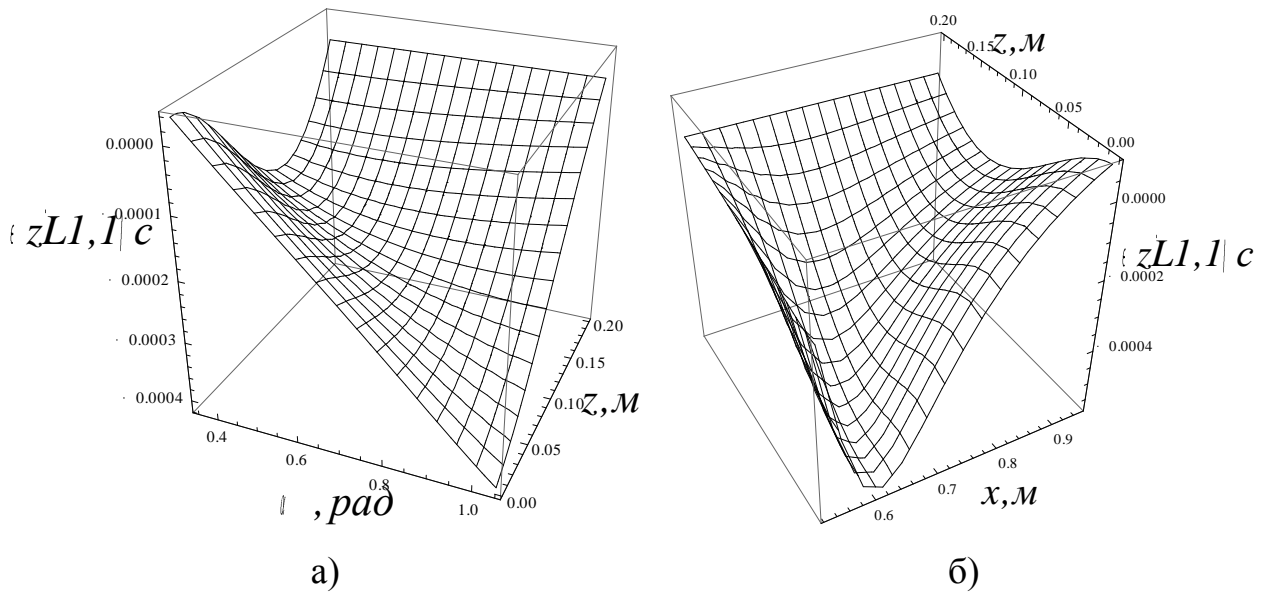


Рис. 3.22 - Графічне зображення розподілу напружень у вертикальній площині в залежності від кута нахилу стінки ущільнювальної камери α (а) та довжиною каналу x (б).

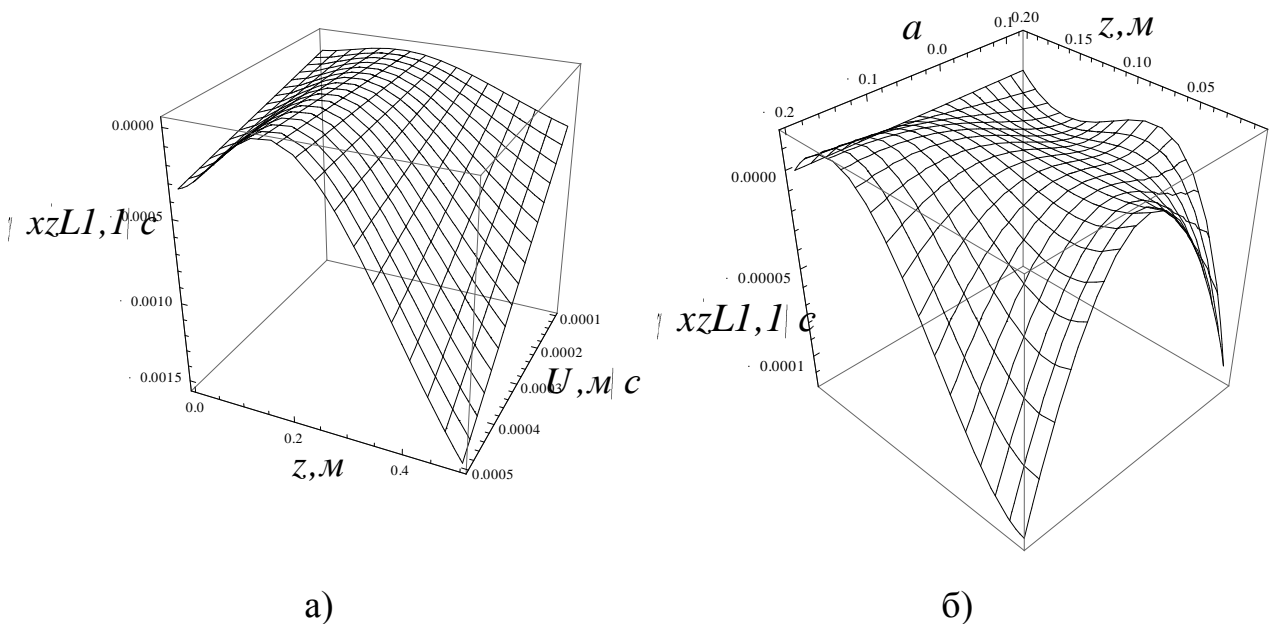


Рис. 3.23 - Графічне зображення розподілу дотичних напружень в залежності від швидкості руху ущільнювального поршня U (а) та коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (б).

Аналіз деформацій на ділянці звуження у вертикальній площині вказує на змінення напрямку деформацій в процесі руху поршня пресу попереднього ущільнення, що свідчить про вплив похилої верхньої стінки камери ущільнення (рис. 3.22). Також на характер деформацій оказує значний вплив форма поверхні поршня пресу попереднього ущільнення.

Напруження в матеріалі на ділянці звуження виглядатимуть наступним чином

$$\sigma_{xL1} = -\frac{\frac{Gt}{2e^{\mu}} \mu((-5+7\nu)\dot{\epsilon}_{xL1} - 2(-2+\nu)(\dot{\epsilon}_{zL1}))}{9(-1+\nu)},$$

$$\sigma_{zL1} = \frac{\frac{Gt}{2e^{\mu}} \mu(2(-2+\nu)\dot{\epsilon}_{xL1} + (5-7\nu)\dot{\epsilon}_{zL1})}{9(-1+\nu)},$$

$$\tau_{xzL1} = 2e^{\mu} \mu \dot{\gamma}_{xzL1}. \quad (3.74)$$

Розгорнутий вигляд залежності та її числове вирішення представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.24, 3.25, 3.26.

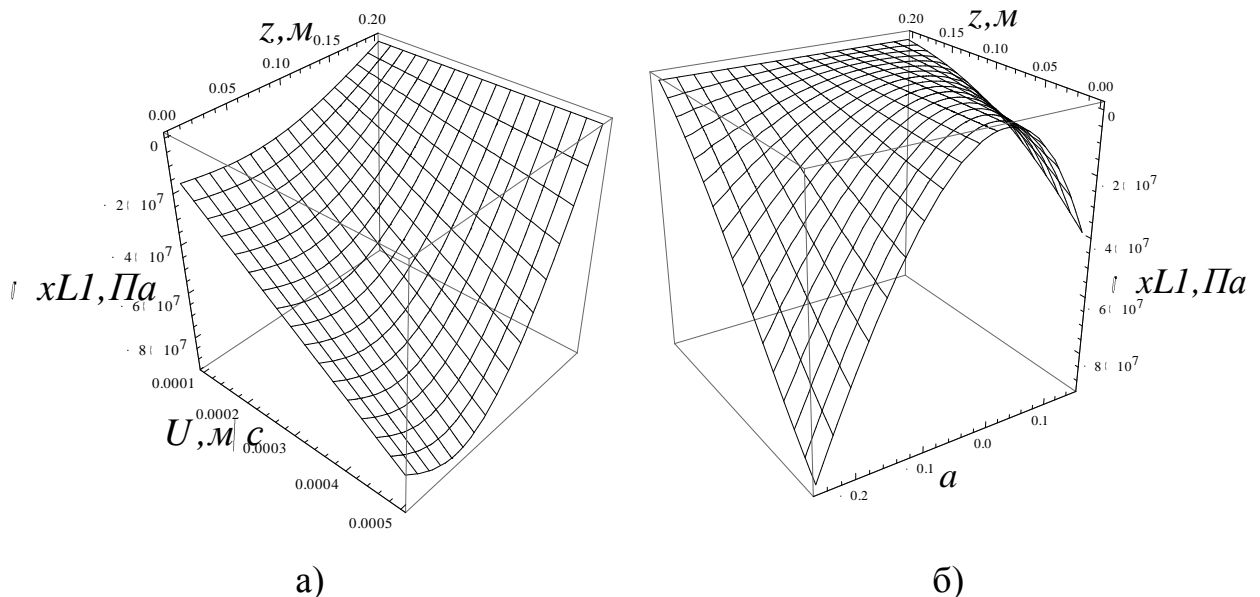


Рис. 3.24 – Графічне зображення розподілу нормальних напружень у горизонтальній площині в залежності від швидкості руху ущільнювального поршня U (а), і коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (б).

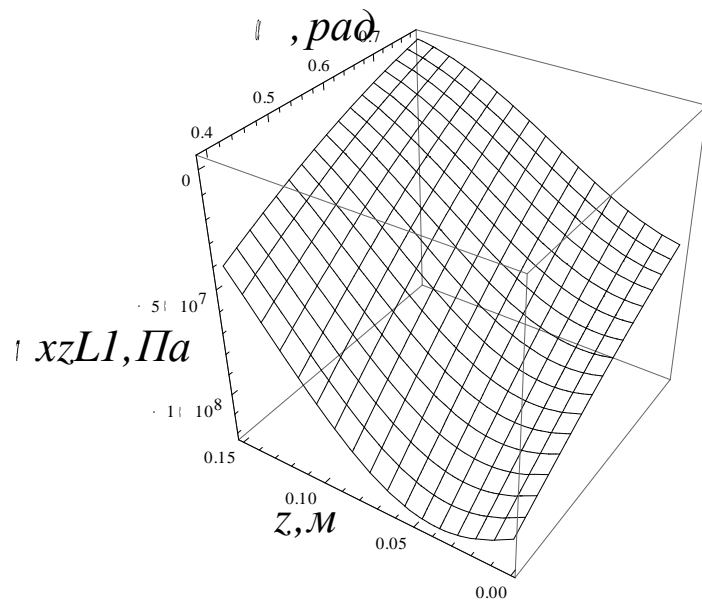


Рис. 3.25 – Графічне зображення розподілу дотичних напружень в залежності від висоти шару матеріалу по осі z і від кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α (б).

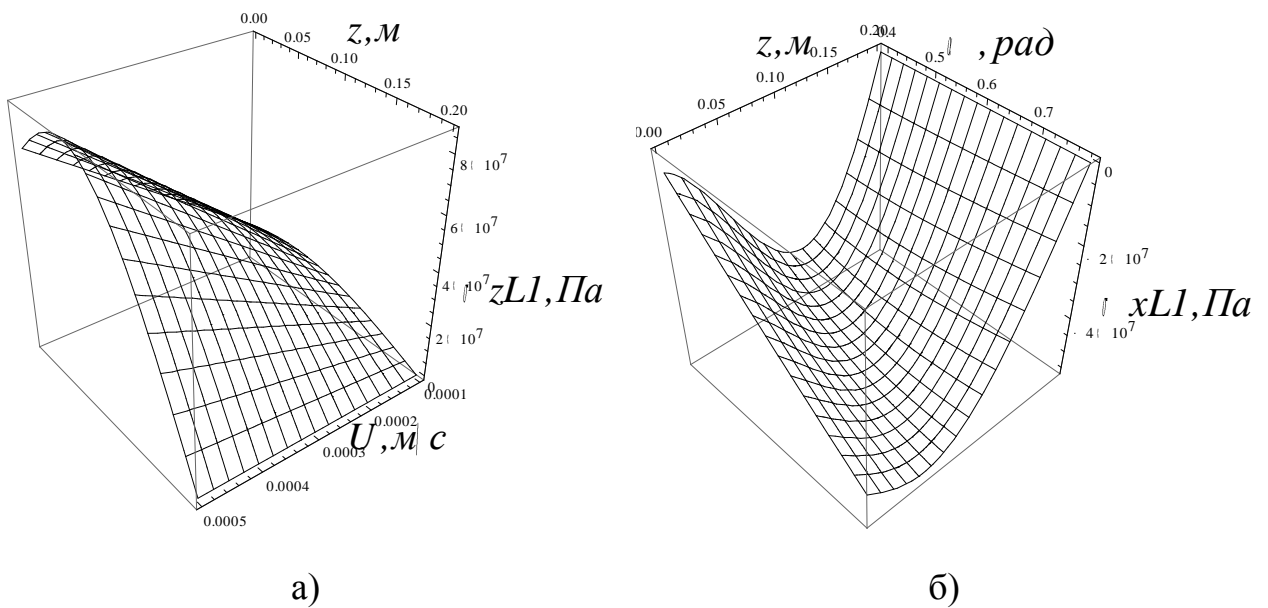


Рис. 3.26 – Графічне зображення розподілу нормальних напружень у вертикальній площині в залежності від швидкості руху ущільнювального поршня U (а), і від кута нахилу верхньої стінки камери ущільнення α (б).

Представлені вище графічні залежності збудовані згідно наступних початкових умов: $\alpha = \pi/4$, $\rho_0 = 150 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, $H = 0,5 \text{ м}$, $L = 1 \text{ м}$, $U = 0,3 \text{ мм/с}$.

Ущільнення маси на ділянці звуження каналу буде відбуватися за наступним виразом

$$\rho_{L1} = \rho_0 + b \operatorname{Ln}[\sqrt{\sigma_{mL1}^2 (1 + \tau_{xzL1})}];$$

$$\sigma_{mL1} = \frac{\sigma_{xL1} + \sigma_{zL1}}{3}. \quad (3.75)$$

Розгорнутий вигляд та числове вирішення залежності представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.27 – 3.29.

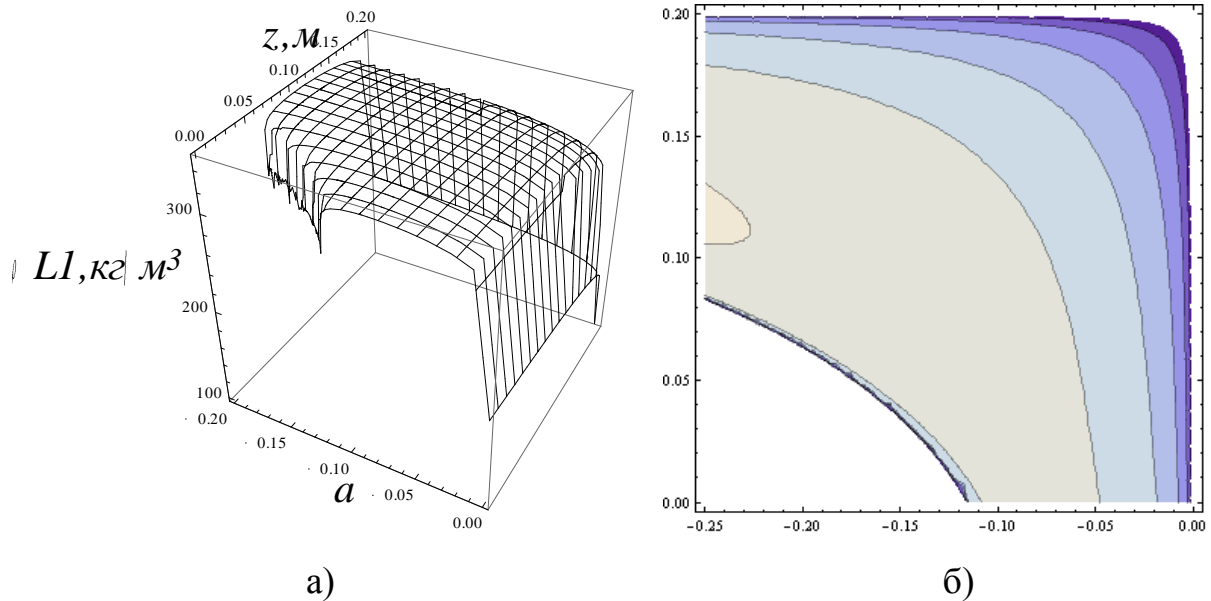


Рис. 3.27 – Графічне зображення розподілу щільності за висотою та коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а) з представленням горизонтального перетину (б).

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 не суттєво. Враховуючи такий стан ситуації необхідно приділити увагу подальшому доопрацюванню конструкції пресу для ущільнення кормових матеріалів для вирівнювання щільності кормового матеріалу. Це необхідно для рівномірного розподілу сипкого консерванту в ущільнювальній масі. В подальшому пропонується використання шнекового ущільнювача, який при відокремленні попередньо ущільненого кормового матеріалу буде вирівнювати щільність та розрихлювати кормовий метеріал для внесення в нього сипкого консерванту та остаточного ущільнення і пакування у полімерні сховища.

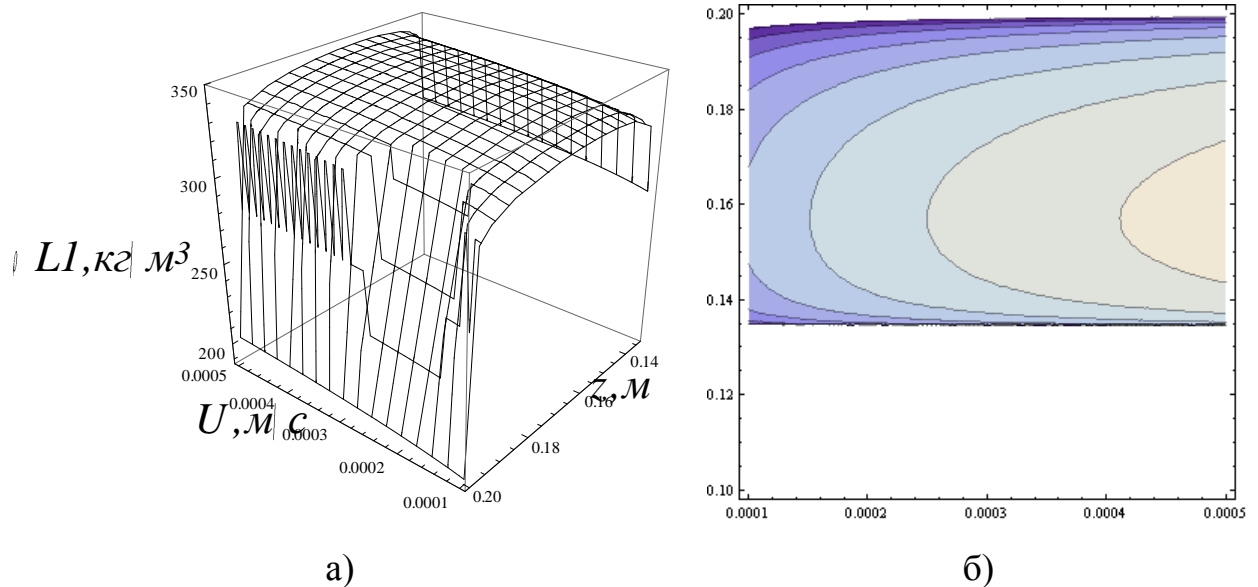


Рис. 3.28 – Графічне зображення розподілу щільності за висотою та швидкістю руху ущільнюючого пресу U (а) з представленням горизонтального перетину (б).

Представлені графічні залежності збудовані згідно наступних початкових умов: $\alpha = \pi/4$, $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, $H = 0,5 \text{ м}$, $L = 1 \text{ м}$, $U = 0,3 \text{ мм/с}$.

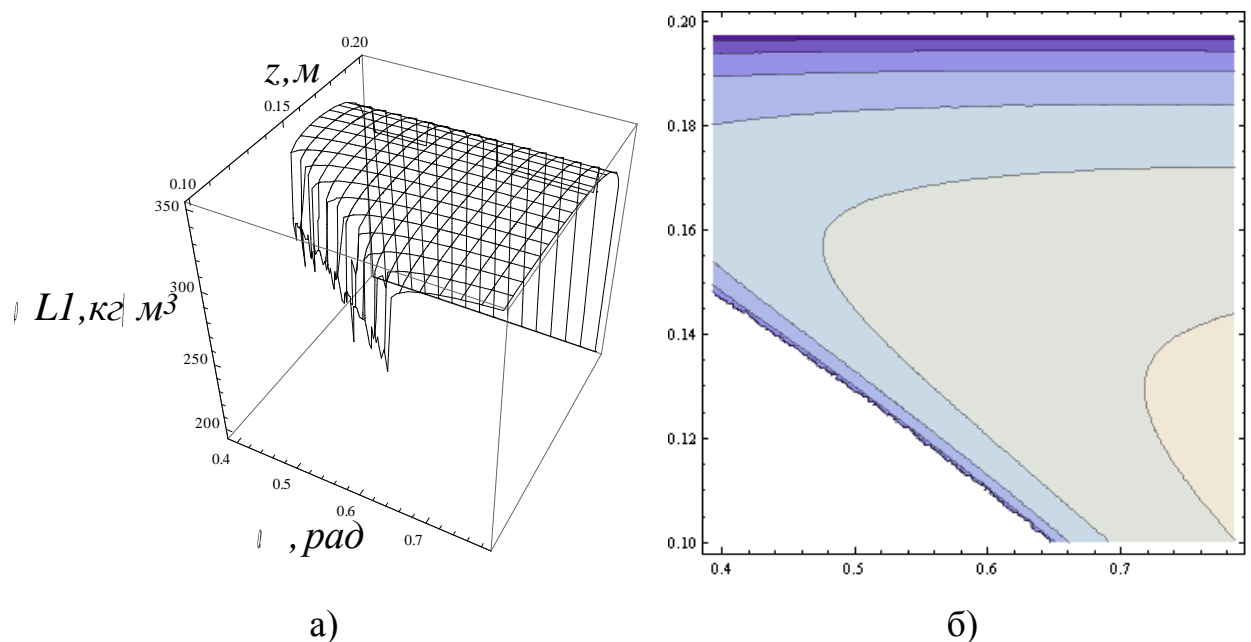


Рис. 3.29 – Графічне зображення розподілу щільності за висотою та кутом нахилу верхньої стінки ущільнюючої камери α (а) з представленням горизонтального перетину (б).

Аналізуючи наведені вище графіки слід зауважити на нерівномірний розподіл щільності вихідного ущільненого матеріалу за висотою розміщення шару. Оскільки цей факт вплине на подальший розподіл консерванту в масі матеріалу,

необхідно вирівнювати щільність у подальшому процесі перед операцією внесення консерванту. Для цього нами запропоновано застосування гвинтового відокремлення, яке дозволить вирівняти щільність матеріалу та у подальшому рівномірно розпушити матеріал та внести консервант.

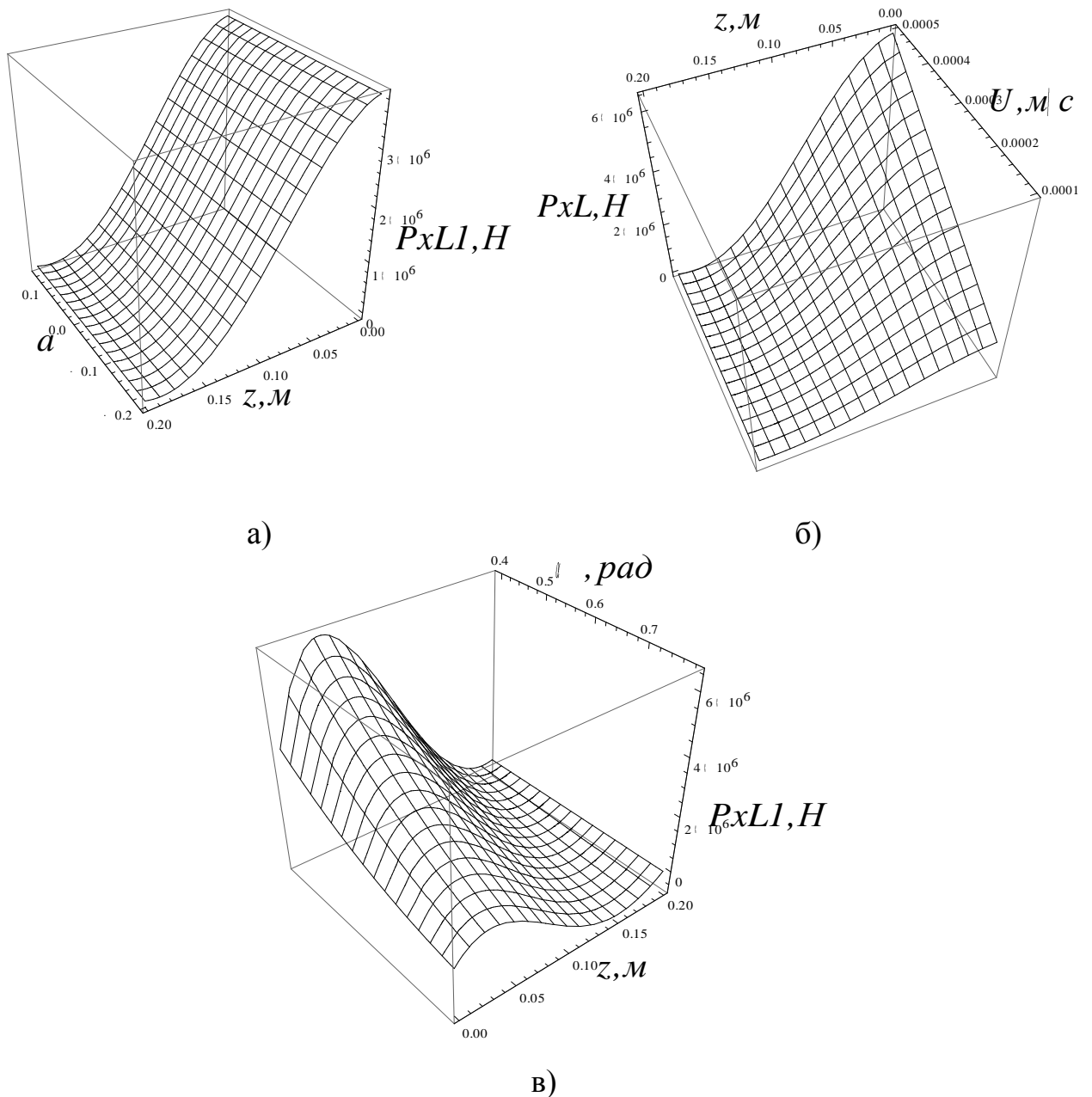


Рис. 3.30 – Графічне представлення залежності зусиль, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень в горизонтальній площині на ділянці звуження від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а), швидкості руху ущільнюючого поршня U (б), кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (в) та за висотою по вісі z .

Проекції сил з боку маси на поршень на ділянці звуження

$$P_{xL1} = \int_0^{H1} B(\sigma_{xL1}l + \tau_{xzL1}n) dz / \{ H1 = x \tan[\alpha], l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{a^2}}} \};$$

$$P_{zL1} = \int_0^{H1} B(\tau_{xzL1}l + \sigma_{zL1}n) dz / \{ H1 = x \tan[\alpha], l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{a^2}}} \}. \quad (3.76)$$

Розгорнутий вигляд залежності та її числове вирішення представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.30, 3.31.

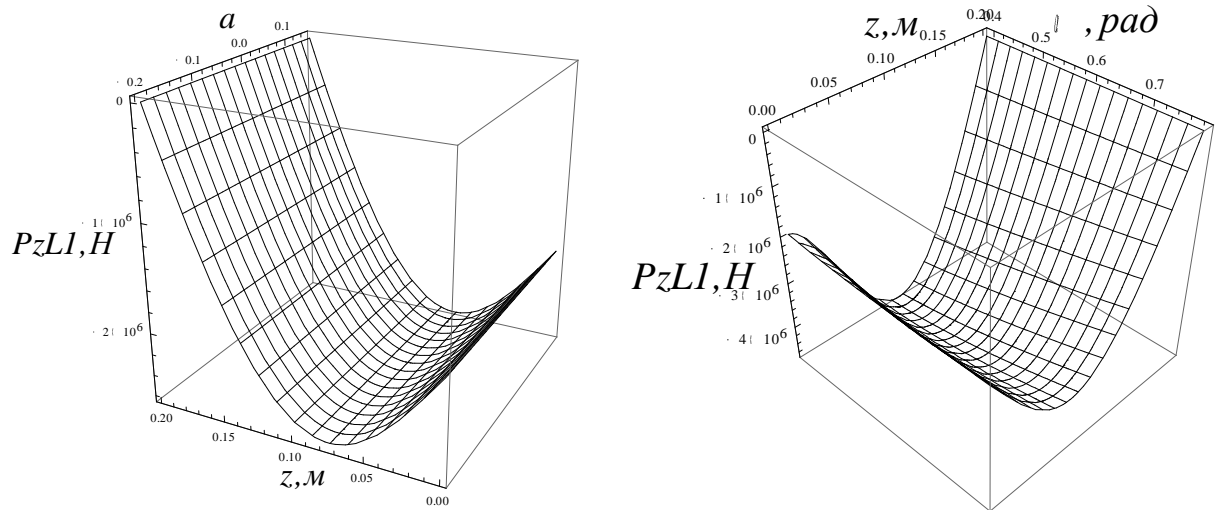
Рівнодійна сил опору, вирішення залежності якої представлено у ППП «Wolfram Mathematica», на ділянці звуження буде складати

$$PL1 = \sqrt{P_{xL1}^2 + P_{zL1}^2}. \quad (3.77)$$

Для побудови графічних залежностей приймемо наступні початкові умови: $\alpha = \pi/4$, $\rho_0 = 150 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, $H = 0,5 \text{ м}$, $L = 1 \text{ м}$, $U = 0,3 \text{ мм/с}$. Представлені залежності приведені на рис. 3.32.

Витрата енергії на ділянці звуження

$$AL1 = \int_0^{L1} P dx. \quad (3.78)$$



а)

б)

Рис. 3.31 – Графічне представлення залежності зусиль, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень в вертикальній площині на ділянці звуження від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а), кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (б), та за висотою по вісі z .

Розгорнутий вигляд залежності та її числове вирішення представлено у ППП «Wolfram Mathematica», оскільки їх вигляд громіздкий. Графічна інтерпретація наведена на рис. 3.33.

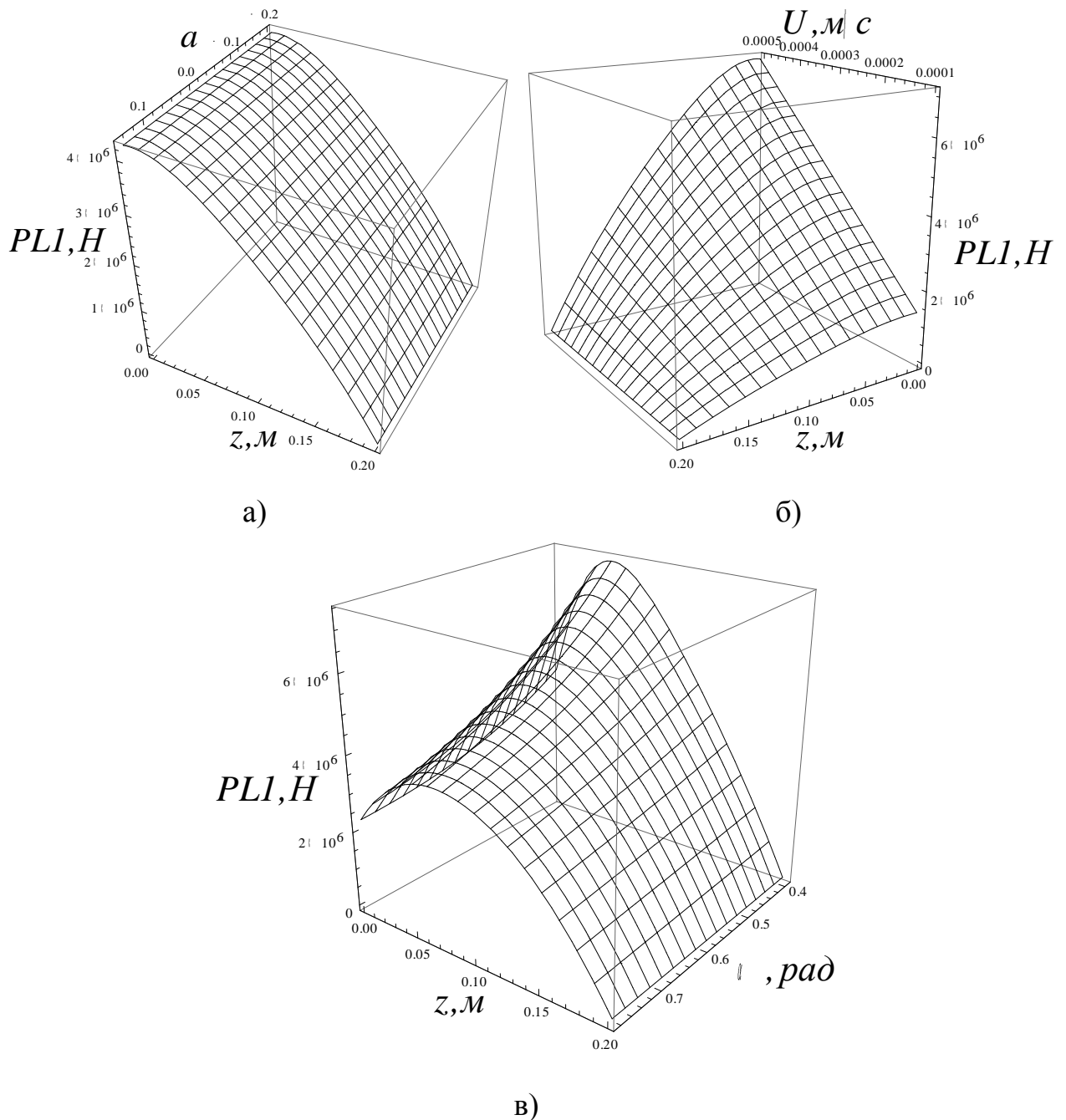


Рис. 3.32 – Графічне представлення рівнодійної сил, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень на ділянці звуження від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а), швидкості руху ущільнюючого поршня U (б), кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (в) та за висотою по вісі z .

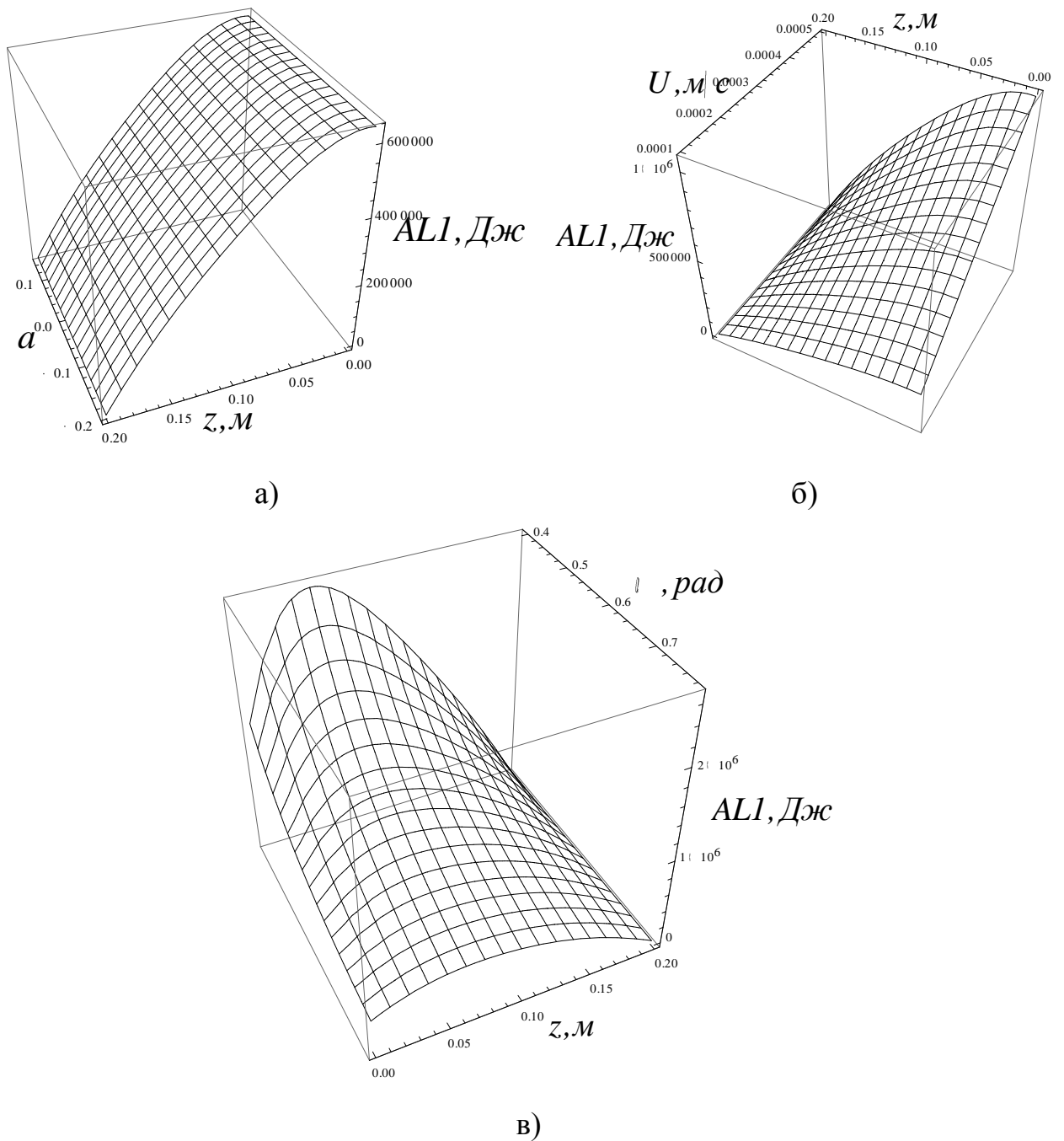


Рис. 3.33 – Графічне представлення залежностей витрат енергії, на ділянці звуження від коефіцієнту встановлення ущільнюючого поршня a (а), швидкості руху ущільнюючого поршня U (б), кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (в) та за висотою по вісі z .

Представлені вище графічні залежності будувалися із наступними початковими умовами: $\alpha = \pi/4$, $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, $H = 0,2 \text{ м}$, $L = 0,51 \text{ м}$, $U = 0,0003 \text{ м/с}$.

Проведення аналізу представлених поверхонь вказує на збільшення витрат енергії при збільшенні кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери пресу попереднього ущільнення. Найбільші значення витрат енергії

спостерігаються на висоті 0,1 - 0,12м та зростають із рухом поршня. Дуже помітний вплив на витрати енергії виявляє підвищення швидкості руху поршня пресу попереднього ущільнення. На розподіл витрат енергії фактично не впливає форма поверхні поршня.

3.2.3 Визначення основних параметрів гвинтового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі

На сучасному етапі взаємодія гвинтових пристроїв із матеріалами, що транспортуються вивчена в достатній мірі. Однак застосування гвинтів не обмежується лише транспортуванням. Гвинти застосовують у багатьох процесах, наприклад змішування, дозування та ін.. При застосуванні гвинтових пристроїв для процесів відокремлення рослинної сировини - теоретичних відомостей не достатньо. Тому проблема визначення основних параметрів цього процесу є дуже актуальною.

При розгляданні взаємодії гвинтових пристроїв із рослинною сировиною спочатку слід прийняти деякі припущення. При уявленні поперечного перетину взаємодії гвинту із рослинною сировиною при боковій подачі можливо помітити деякі збіжності у взаємодії фрезерних робочих органів із оброблюваним матеріалом. Тому певні характеристики процесу будуть подібні, але деякі, наприклад, транспортування відокремленої маси, слід розглядати окремо [171-174].

Процес відокремлення зайвого матеріалу з переміщенням заготовки відносно інструменту, що обертається, в класичному уявленні має назву фрезерування. При чому розрізняють два типи фрезерування, а саме попутний (рис. 3.34 а) та зустрічний (рис. 3.34 б).

В нашому випадку при боковій подачі рослинної сировини можна проводити аналогії із першим типом фрезерування, а саме із попутним. Тому розглянемо основні параметри фрезерування для нашого випадку.

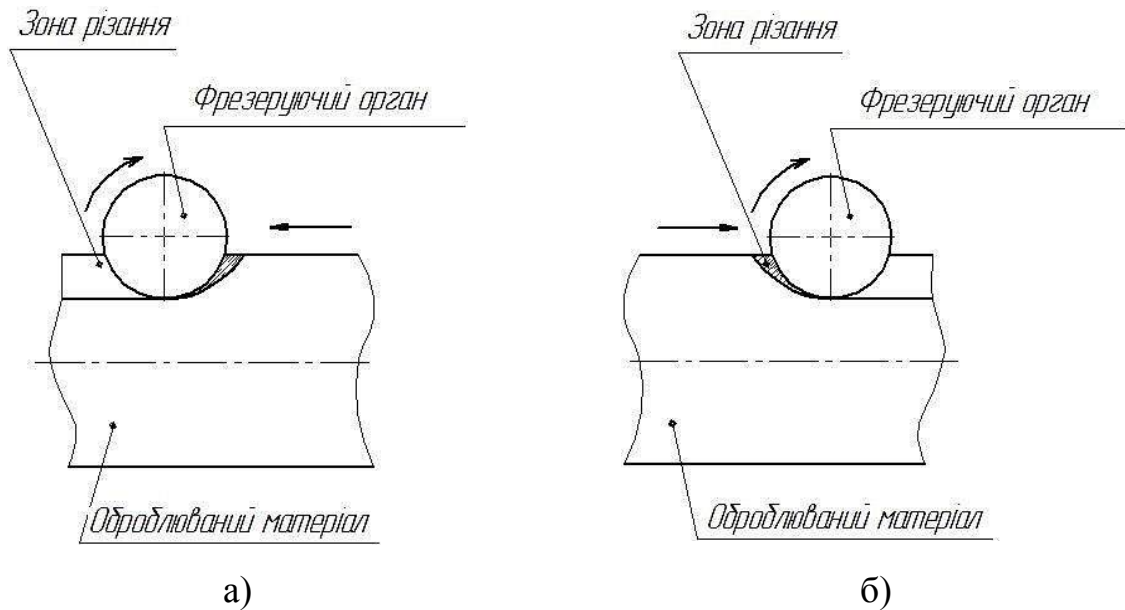


Рис. 3.34 – Існуючі типи фрезерування: а) попутне фрезерування; б) зустрічне фрезерування.

Швидкість будь-якої точки лопаті фрезерного робочого органу являє собою суму колової V_k швидкості та швидкості подачі V_n (рис. 3.35 а). Проекції швидкостей точки на осі координат можна виразити параметричними рівняннями [175, 176, 177]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V_k \cos \alpha + V_n; \\ \frac{dy}{dt} &= V_k \sin \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (3.79)$$

де α – кут обертання точки лопаті фрезерного робочого органу (рис. 3.36 б),

$$\alpha = \omega t_m, \quad (3.80)$$

де ω – кутова швидкість лопаті фрезерного робочого органу, рад./с;

t_m – час обертання точки, с.

V_k - колова швидкість на кінцях ріжучих елементів, м/с

$$V_k = \frac{\omega D_\Gamma}{2}, \quad \text{м/с} \quad (3.81)$$

де ω – швидкість обертання робочого органу, рад/с;

D_Γ – діаметр гвинту, м.

Після підстановки значень α та ω до виразу (3.80) отримаємо

$$\left. \begin{aligned} dx &= \left(\frac{\omega D}{2} \cos \omega t + V_{\text{п}} \right) dt; \\ dy &= \frac{\omega D}{2} \sin \omega t dt. \end{aligned} \right\} \quad (3.82)$$

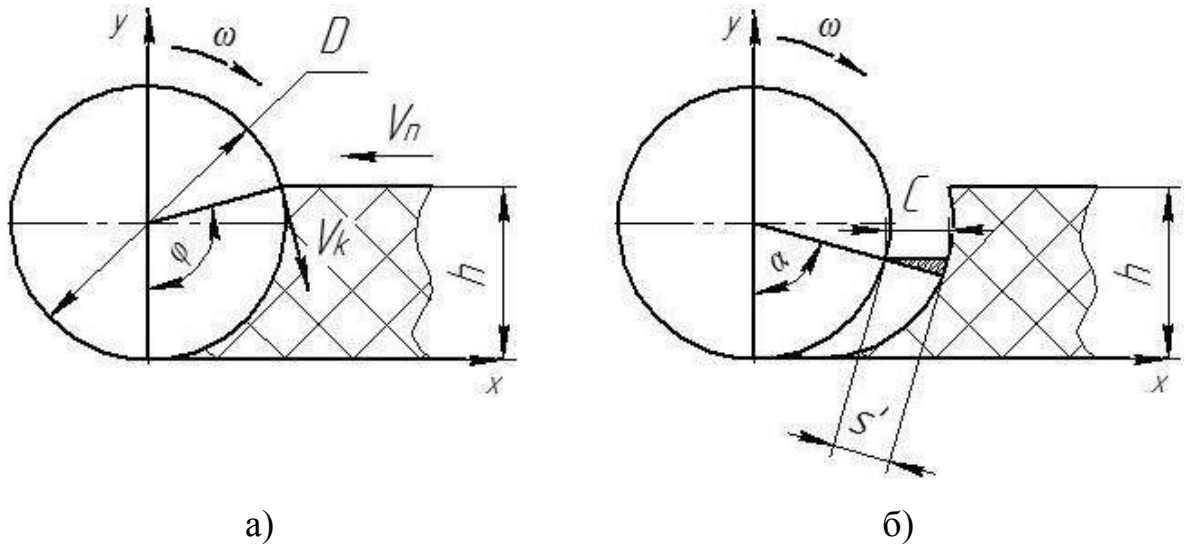


Рис. 3.35 – Схема до визначення перетину стружки: а) визначення кута входу робочого органу до рослинної сировини; б) визначення перетину та товщини стружки.

Проінтегрував вираз (3.79) знайдемо рівняння траєкторії руху точки лопаті фрезерного робочого органу

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\omega D}{2} \int \cos \omega t dt + V_{\text{п}} \int dt = \frac{D}{2} \sin \omega t + V_{\text{п}} t + C; \\ y &= \frac{\omega D}{2} \int \sin \omega t dt = -\frac{D}{2} \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \right\} \quad (3.83)$$

В іншому вигляді можна переписати як

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \omega t + V_{\text{п}} t + C; \\ y &= -R \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \right\} \quad (3.84)$$

Постійні інтегрування C та C_1 можна визначити, підставивши до цих рівнянь значення початкових умов, а саме $t = 0$, $x = 0$, $y = 0$. При цих умовах $C = 0$ та $C_1 = R$. Тоді рівняння (3.84) приймуть вигляд [177-179]

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \omega t + V_{\text{п}} t; \\ y &= R(1 - \cos \omega t). \end{aligned} \right\} \quad (3.85)$$

Для визначення продуктивності роботи фрезерного робочого органу також важливо значення перетину стружки, що зрізується одним робочим елементом, тобто лопаттю у відповідний момент часу [177]

$$F = b_l s' , \quad (3.86)$$

де b_l – ширина захвату однієї лопаті, м;

s' – товщина стружки у положенні лопаті, що досліджується, м.

Для визначення товщини стружки s' можна використати схему зображену на рисунку 3.36 б, а саме

$$s' = C_l \cdot \sin \alpha , \quad (3.87)$$

де C_l – подача на одну лопать, м.

В разі представлення витка гвинта у вигляді окремих елементарних фрагментів - лопатей розміщених під деяким кутом (кут нахилу гвинтової лінії) та розміщених вздовж гвинтової лінії - ми зможемо визначити подачу рослинної сировини на один елементарний фрагмент (лопать)

$$C = \frac{\pi D}{\lambda z_e}, \quad \text{м} \quad (3.88)$$

де z_e – кількість ріжучих елементів у площині різання, шт.

λ - показника кінематичного режиму роботи фрезерного робочого органу.

Визначивши колову швидкість на кінцях ріжучих елементів стає можливим визначення показника кінематичного режиму роботи

$$\lambda = \frac{V_k}{V_n}, \quad (3.89)$$

де V_n – швидкість подачі рослинної сировини, м/с.

Підставивши усі значення отримаємо повний вираз для розрахунку перетину стружки

$$F = b \frac{\pi D V_n}{V_k z} \sin \alpha . \quad (3.90)$$

Приймаючи до уваги той факт, що у роботі одночасно приймають участь декілька лопатей, що знаходяться під різними кутами, необхідно визначити сумарний перетин стружки, що знімається робочим органом

$$F_{\text{сум}} = bi \frac{\pi D V_{\text{п}}}{V_k z} \sum_1^i \sin \alpha_i, \quad (3.91)$$

де i – кількість одночасно працюючих лопатей.

В середньому за один цикл кількість одночасно працюючих лопатей можна розрахувати за виразом

$$i = \frac{\varphi_k n_n}{360}, \quad (3.92)$$

де φ_k – кут контакту робочого органу з рослинною сировиною;

n_n – кількість заходів гвинтової навивки (для нашого випадку).

Визначити кут контакту робочого органу з рослинною сировиною φ при подачі з боку можна за допомогою виразу

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2h_{\text{ш}}}{D_r}\right), \text{ рад.} \quad (3.93)$$

де $h_{\text{ш}}$ – висота шару маси, що подається до ущільнювача (глибина фрезерування), м.

Таким чином, нами обґрунтований математичний апарат визначення основних параметрів, що описують процес відокремлення рослинної сировини ротаційними робочими органами, в тому числі і гвинтовими. Визначивши наведені параметри можна переходити до визначення техніко–економічних показників, таких як продуктивність, зусилля та потужність відокремлення рослинної сировини при боковій подачі.

3.2.4 Теоретичні дослідження процесу структурування часток рослинної сировини в просторі двогвинтового ущільнювача

Теоретичних відомостей, щодо заповнення об'єму приблизно однако-вими частками на сучасному етапі існує достатньо. Однак викликають деякі

питання, при спробі механізації процесу заповнення об'єму структурованою сировиною наприклад у галузі тваринництва. Де, для прикладу, частки рослинної сировини, що підлягають консервуванню, подрібнені згідно зоотехнічних вимог. При ущільненні рослинної сировини у такому стані звичайними методами спостерігаються дуже негативні наслідки, такі як витікання соку з рослин, який містить дуже суттєвий рівень поживних речовин. Також слід враховувати остаточний вміст кисню, завдяки якому і відбувається окислення і соку і частинок у місті розрізу. Тоді як при закладанні на зберігання структурованої сировини залишків кисню можна уникнути взагалі, або вони будуть впливати не суттєво.

Для розгляду процесу структурування рослинної сировини слід розглянути при яких умовах він може відбуватися. Як було запропоновано в роботі [180] після попереднього ущільнення, завдяки якому витісняється більша частина повітря з ущільнюваного об'єму. Після попереднього ущільнення маса подається до двогвинтового ущільнювача, де безпосередньо і відбувається структурування після відокремлення частини рослинної сировини [181].

Для опису самого процесу структурування слід звернути увагу на процеси, що відбуваються у горизонтальній площині дії гвинту. Якщо представити гвинт як геометричну модель можна уявити, що похила лінійка транспортує масу по горизонтальній шорсткій поверхні $ABCD$ (рис. 3.36) [182-188].

Коефіцієнт тертя рослинної сировини m по похилій лінійці буде дорівнювати $\mu_w = tg\theta$. Напрямок нормалі відносно похилої лінійки позначений як n , тоді як кут нахилу похилої лінійки позначений як α . У разі переміщення похилої лінійки вправо, маса m буде рухатися у напрямку вектора \bar{V} , який утворює із нормаллю n кут α , а з віссю oz – кут $(\alpha + \theta)$. В вищенаведеній моделі довжина похилої лінійки дорівнює довжині гвинтової лінії витка гвинту. Ширина поверхні (BC) дорівнює S – кроку гвинта.

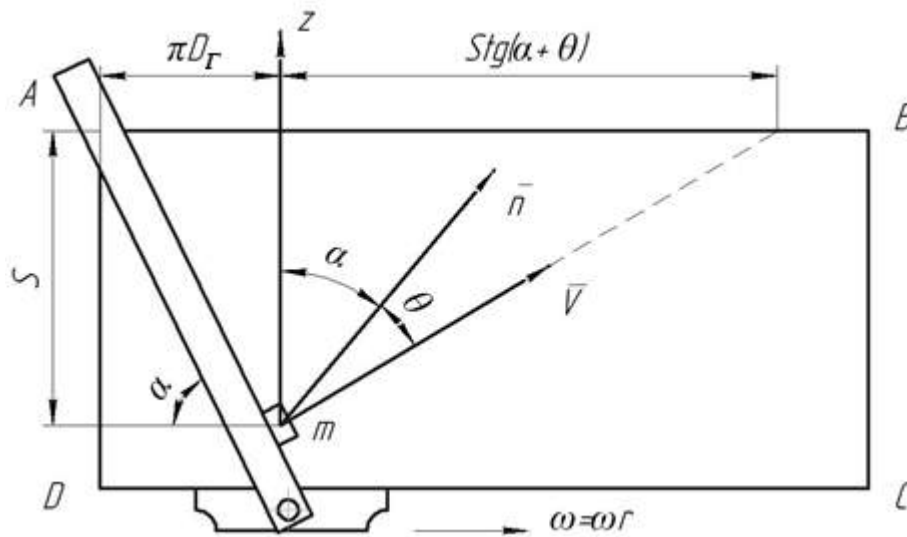


Рис. 3.36 – Геометрична модель руху матеріалу в гвинтовому просторі.

Відстань між точкою A та віссю oz є довжиною окружності πD_{Γ} обичайки гвинту. Для переміщення маси m у напрямку V , ковзаючи вздовж похилої лінійки, на величину кроку S в точку B необхідно, щоб кінець похилої лінійки прийшов з точки A в точку B .

Виразити переміщення маси m можна через кількість обертів гвинту на величину кроку гвинта S , а саме

$$k = \frac{\pi D_{\Gamma} + Stg(\theta + \alpha)}{\pi D_{\Gamma}} \quad (3.94)$$

Звідти коефіцієнт ковзання або переміщення маси m за один оберт уздовж вісі oz у долях кроку гвинта складе

$$\varphi = \frac{\pi D_{\Gamma}}{\pi D_{\Gamma} + Stg(\theta + \alpha)} = \frac{1}{1 + tg\alpha tg(\theta + \alpha)}. \quad (3.95)$$

Для визначення коефіцієнта продуктивності гвинта також необхідні дані щодо коефіцієнту наповнення гвинту $\varphi_{\text{н}}$, який в свою чергу пов'язаний з об'ємом відокремлення при боковій подачі.

$$\varphi_{\text{п}} = \varphi \varphi_{\text{н}}. \quad (3.96)$$

Тоді секундна продуктивність транспортування складе

$$Q^c = \frac{S}{D} r^3 \omega \varphi_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.97)$$

Однак цих даних не достатньо для розуміння процесів структурування рослинної сировини. Для цього ми представимо які процеси відбуваються у гвинтовому просторі, на тій самій геометричній моделі, після відокремлення частинок рослинної сировини гвинтом.

При попередньому ущільненні відбувається процес простого ущільнення «з хаотичним розміщенням» частинок (рис. 3.37).



Рис. 3.37 – Вигляд рослинної сировини після попереднього ущільнення (хаотичне розміщення частинок).

Зрозуміло, що при пресовому ущільненні складно видалити повітря повністю, це пов'язано насамперед із ефектом релаксації (опірності рослинної сировини) – здатності повертатися до початкового становища із засмоктуванням нової порції повітря. Тому далі розглянемо процеси, що відбуваються після відокремлення попередньо ущільненої порції.

Для спрощення сприйняття процесу структурування розглянемо поведінку частки рослинної сировини, довжина якої значно перевищує її поперечний перетин, при дії на неї похилої лінійки гвинту.

А саме розглянемо тверде тіло, із запропонованою формою, яке розміщено будь-яким чином але не паралельно похилій лінійці гвинта (рис. 3.38). В цьому випадку при будь-якому розміщенні часток на них буде діяти похила лінійка гвинту, яка в свою чергу одночасно буде прикладати зусилля F лише до однієї крайньої точки частки тим самим викликаючи обертальний момент навколо центру мас. Частка буде обертатися до тих пір, поки вона не сприйме

положення паралельного похилій лінійці гвинту, надалі буде відбуватися процес описаний вище на прикладі переміщення часток гвинтами.

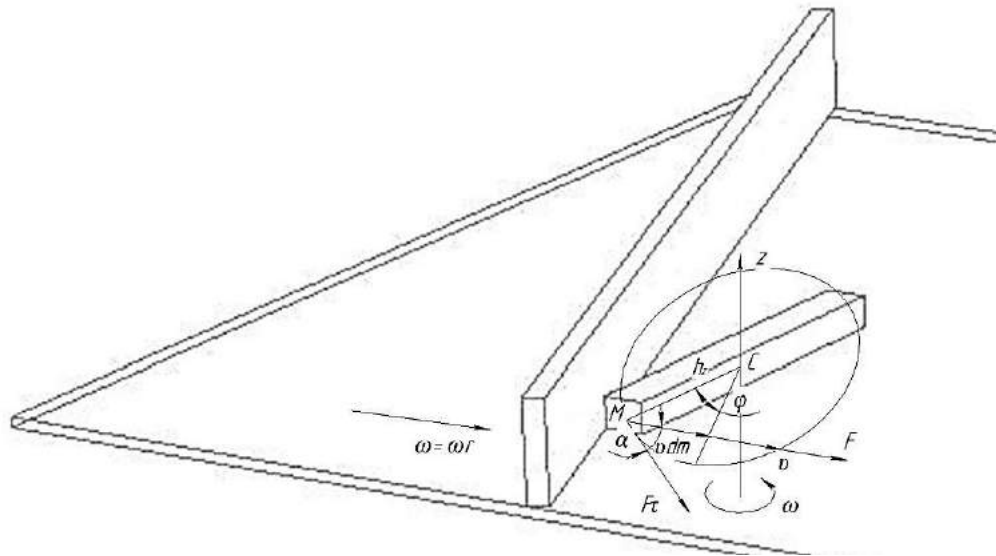


Рис. 3.38 – Схема до теоретичного обґрунтування процесу структуризації рослинної сировини під дією гвинтових пристроїв.

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 вісі елемент об'єму M буде рухатися по колу із центром обертання у центрі мас C та радіусом h_z від точки M до вісі обертання. Проекція швидкості v елемента об'єму M на дотичну до кола буде дорівнювати $\omega_z h_z$, тоді як проекція кількості руху на ту саму вісь буде дорівнювати $v dm = \omega_z h_z dm$.

Так як плече вектору $v dm$ відносно вісі обертання дорівнює h_z , то момент кількості руху елемента об'єму M відносно вісі z буде дорівнювати $v dm h_z = \omega_z h_z^2 dm$. Тоді як для всього тіла будемо мати

$$K_z = \int \omega_z h_z^2 dm, \quad (3.98)$$

Зазвичай це можна виразити через момент інерції тіла I_z

$$K_z = I_z \omega_z. \quad (3.99)$$

Спробуємо тепер визначити роботу та потужність зусиль що прикладені до частки необхідні для обертання цієї частки. У випадку дії прикладеного зусилля F на частки у напрямку дотичної складової F_t вони будуть однакові, в інших випадках дотичне зусилля буде дорівнювати $F \cos \alpha$ (рис. 3.38). При визначенні елементарної роботи можна скористатися виразом

$$dA = F_t ds = F_t h d\varphi, \quad (3.100)$$

де ds – диференціал дугової координати точки прикладення зусилля,

$$ds = h d\varphi, \quad (3.101)$$

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

Враховуючи той факт, що добуток $F_t h$ – це те ж саме що і момент зусиль відносно вісі обертання, то можна вираз (3.95) переписати як

$$dA = M_z d\varphi \quad (3.102)$$

В кінцевому виразі робота на кінцевому куті повороту визначиться рівнянням

$$A = \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_z d\varphi, \quad (3.103)$$

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

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

$$A = M_z (\varphi - \varphi_0). \quad (3.104)$$

Поділивши обидві частини рівняння на dt , отримаємо вираз для розрахунку потужності зусилля, яке прикладене до частки та обертається навколо свого центру мас

$$N_z = M_z \omega_z. \quad (3.105)$$

Наведені теоретичні аспекти приведені для опису процесу структуризації рослинної сировини на прикладі однієї частки. Однак для опису процесу структуризації потоку рослинної сировини слід враховувати коефіцієнти внутрішнього тертя та механіку взаємодії із суцільним середовищем. Адже на практиці (рис. 3.39) процес структуризації виглядає саме описаним вище

способом. Для отримання уявлення яким чином буде розподілятися рослинна сировина після остаточного ущільнення в дифузорі слід звернутися до рис. 3.40.



Рис. 3.39 – Процес структуризації рослинної сировини в просторі гвинтового ущільнювача з однобічним обертанням.



а)



б)

Рис. 3.40 – Вигляд розтину ущільненої сировини після остаточного ущільнення в дифузорі: а) сінаж; б) ворох.

На ньому можна побачити яким чином структурована сировина виглядає після скручування.

Для поліпшення транспортувальної здатності, зменшення вартості перевезень, забезпечення більш економічного використання складських приміщень та забезпечення кращої збереженості поживних речовин та вітамінів корми зазвичай ущільнюють.

Використання процесів ущільнення рослинної сировини на сучасному етапі набуло широкого розповсюдження. Однак якість збереження рослинної сировини залежить від остаточного вмісту повітря в сировині, що ущільнюється, причому, бажано забезпечити якнайшвидше видалення повітря та забезпечення цього стану на протязі всього періоду зберігання.

На наш погляд, використання гвинтових приладів для ущільнення рослинної сировини може у повній мірі забезпечити необхідну ступінь ущільнення. Однак важливою умовою їх застосування є забезпечення «непроникливості» повітря у зону ущільнення.

Також необхідно враховувати можливість самоочищення гвинтів для безперебійної роботи ущільнювача. Саме цю вимогу може задовольнити застосування двох гвинтів однакової навивки із невеликим перекриттям гвинтового простору одного гвинта іншим.

Для проведення теоретичних досліджень руху двогвинтового ущільнювача спочатку проведемо аналіз процесів, що відбуваються в одногвинтових пристроях.

Аналіз досліджень руху матеріальної частки, що спирається на гвинтову поверхню та притиснута до стінки кожуху в загальному вигляді (рис. 3.41) при горизонтальному розміщенні осей можливо описати наступними диференціальними рівняннями [189]

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos \alpha_2 - f_1 N_1 \sin \alpha_2 - m a \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) - f_2 N_2 \sin \beta &= 0 \\ f_2 N_2 \cos \beta - f_1 N_1 \cos \alpha_2 - N_1 \sin \alpha_2 - m r \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) &= 0 \\ G \cos \varepsilon + m r \omega_0^2 + m r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 - 2 m r \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} (3.106)$$

де N_1 – нормальна реакція похилої поверхні;

f – коефіцієнт тертя матеріалу по лопаті гвинта;

α_2 – кут підйому гвинтової лінії

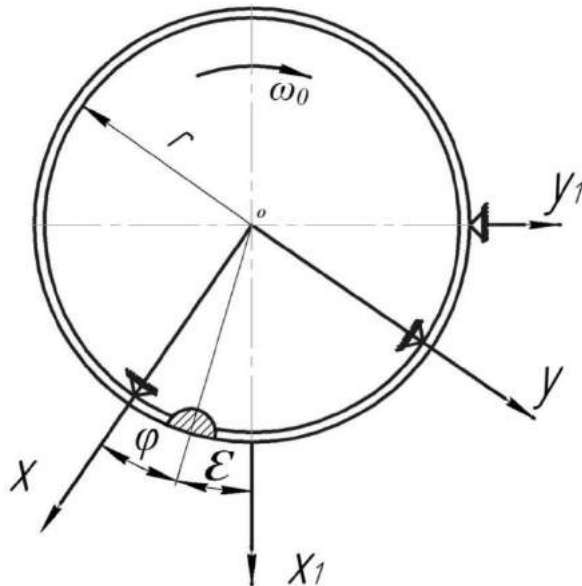


Рис. 3.41 – Положення точки у гвинтовому транспортері та розміщення нерухомої та рухомої системи координат.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{S}{2\pi r} \quad (3.107)$$

де S – крок гвинта, м;

r – радіус гвинта, м;

m – маса елемента матеріалу, кг;

G – вага елемента матеріалу, Н;

f_2 – коефіцієнт тертя матеріалу по стінці кожуха;

N_2 – нормальна реакція кожуху, Н;

β – кут між векторами переносної та абсолютної швидкостей;

a – параметр гвинта.

$$a = r \operatorname{tg} \alpha \quad (3.108)$$

ω_0 – постійна кутова швидкість, об/хв.;

φ – кут, на який відхиляється частка матеріалу при обертанні гвинта з постійною кутовою швидкістю ω_0 , $\varphi = f(t)$, (рис. 3.42);

t – час;

ε – кут, що визначає положення точки відносно вертикальної площини; (рис. 3.42)

$mr \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – дотичне зусилля інерції;

$m\omega_0^2 r$ – відцентрове зусилля інерції у переносному русі (рис. 3.43 вказано як $F_{ц\delta n}$);

$mr\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$ – відцентрове зусилля інерції у відносному русі (рис. 3.43 вказано як $F_{ц\delta o}$);

$ma\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right)$ – аксіальне зусилля інерції;

$2mr\omega_0 \frac{d\varphi}{dt}$ – зусилля Кориоліса (рис. 3.43 вказано як F_K).

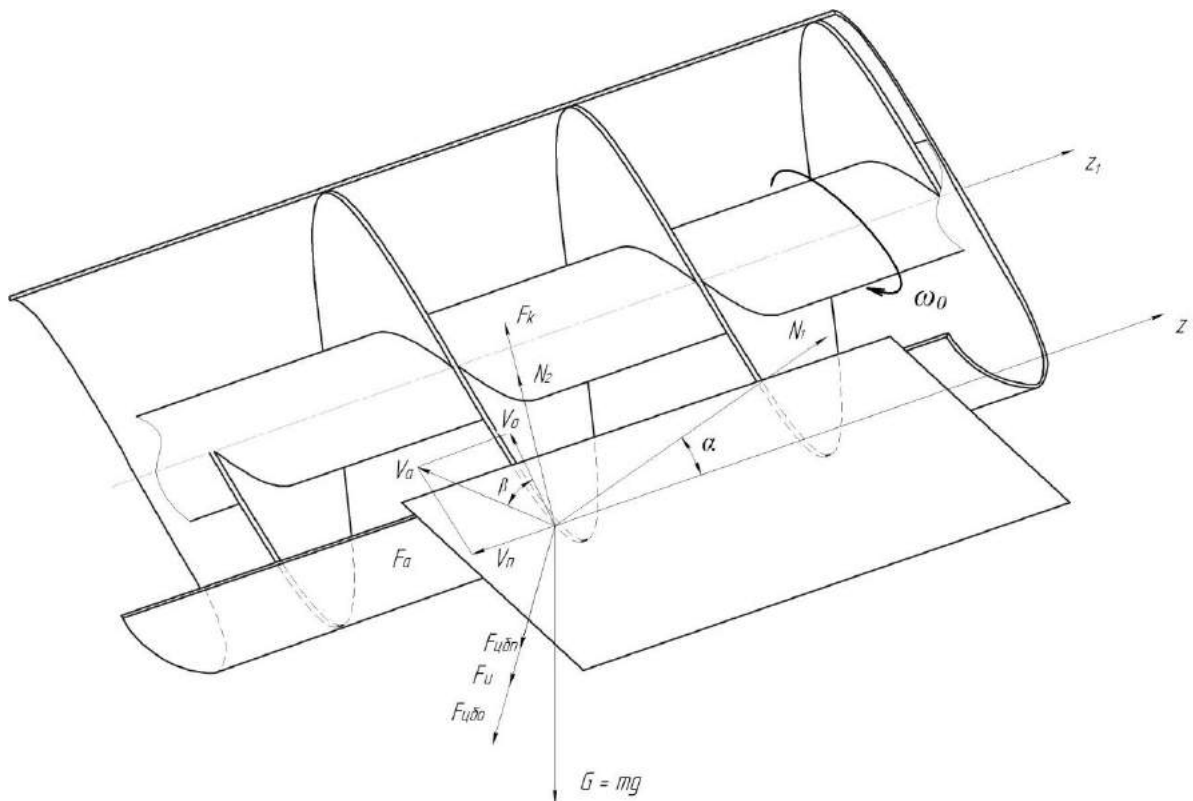


Рис. 3.42 - Зусилля, що прикладені до матеріальної точки, у процесі транспортування гвинтом та розміщення рухомої та нерухомої системи координат.

При розгляданні руху матеріальної точки у корпусі двогвинтового ущільнювача із боковою подачею рослинної сировини рівняння системи (3.101) будуть дещо доповнені, а саме додано коефіцієнт внутрішнього тертя рослинної сировини [166], що подається збоку та нормальна реакція рослинної сировини, що ущільнюється. При чому напрямком цього зусилля буде співпа-

дати із напрямком нормальної реакції похилої поверхні гвинту (рис. 3.44), тоді як значення її будуть підлягати детальним експериментальним дослідженням.

Наступним етапом є визначення значень основних реакцій шляхом розв'язання системи диференційних рівнянь та визначення необхідної потужності для транспортування та ущільнення рослинної сировини в двогвинтовому ущільнювачі.

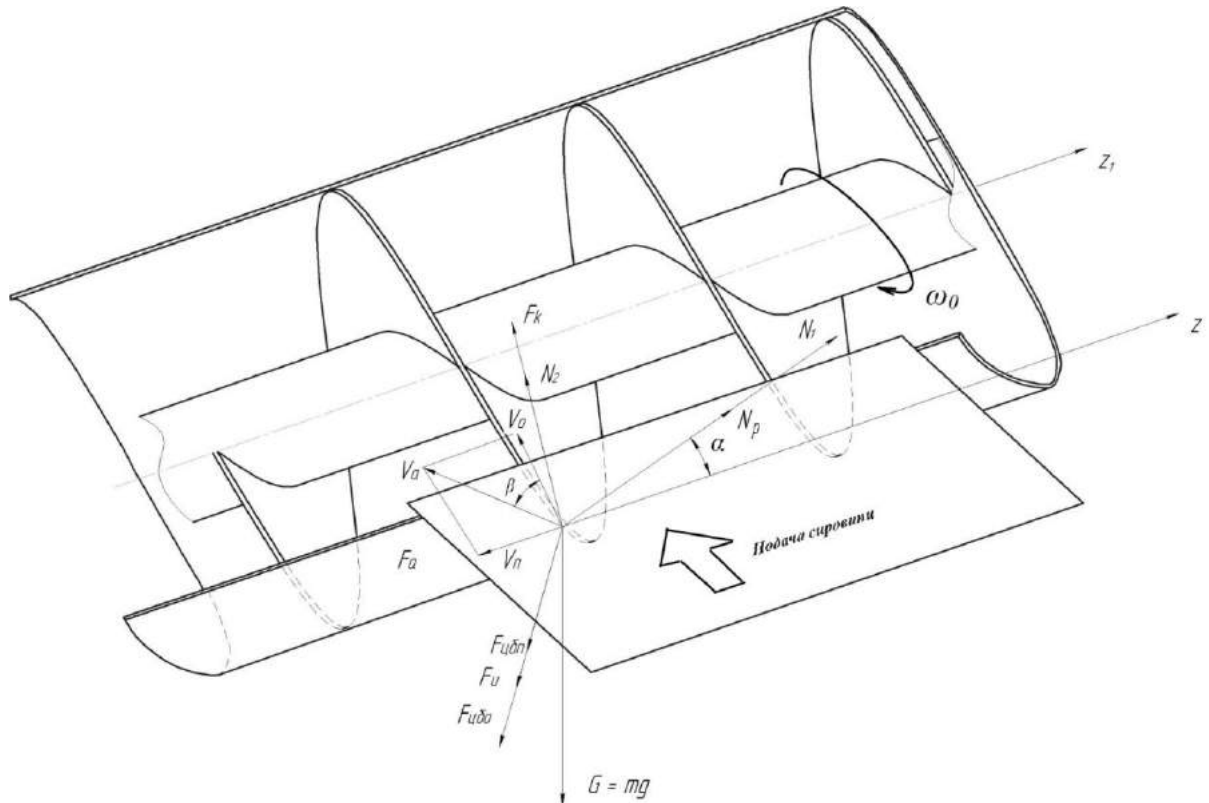


Рис. 3.43 – Зусилля, що прикладені до матеріальної точки, у процесі транспортування гвинтом з урахуванням бічної подачі рослинної сировини.

Після підстановки запропонованих зусиль рівняння руху матеріальної точки будуть мати наступний вигляд

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \alpha - m a \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) - f_2 N_2 \sin \beta - f_{\text{вн}} N_p \sin \alpha &= 0 \\ f_2 N_2 \cos \beta - f_{\text{вн}} N_p \cos \alpha - f_1 N_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha - m r \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) &= 0 \\ G \cos \varepsilon + m r \omega_0^2 + m r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 - 2 m r \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.109)$$

де N_p – нормальна реакція рослинної сировини, що ущільнюється;

$f_{вн.}$ – коефіцієнт внутрішнього тертя рослинної сировини.

Враховуючи той факт, що при застосуванні двогвинтових ущільнювачів перекриття гвинтового простору відбувається практично на третину, ми вважаємо, що суттєвих витрат енергії на транспортування рослинної сировини від одного гвинту до іншого відбуватися не буде, або принаймні вони будуть не значні у порівнянні із витратами енергії на зміну напрямку при боковій подачі [183, 184]. Тому розрахунки витрат енергії можна вести, як для одногвинтового транспортеру, при цьому відстань між гвинтами використовувати для структурування потоку рослинної сировини.

3.2.5 Обґрунтування форми та визначення зміни тиску в дифузорі двогвинтового ущільнювача

Важливою умовою якісного збереження рослинної сировини є уникнення розвитку патогенної мікрофлори. Цієї мети можна досягти шляхом запобігання контактів рослинної сировини із повітрям (киснем) та додаванням консервантів різного походження [73, 164, 185, 186]. На сучасному етапі зафіксовано дуже багато спроб створення умов для запобігання псуванню рослинної сировини під час зберігання [187-189]. До цих умов слід віднести як хімічні способи так і механічні. Зрозуміло, що одним з важливих факторів, які впливають на якість зберігання це наявність підвищеного вмісту вологи. З одного боку вивільнену вологу, після подрібнення можна, відвести абсорбентами, з другого боку рівень вологи повинен зберігатися на певному рівні. Тобто поглянувши на спрощену проблему слід відмітити, що необхідно максимально збільшити об'ємну вагу моноліту для витиснення повітря (якомога щільніше укласти рослинні частки), при чому зусилля ущільнення не повинні перевищувати тиск тургору клітин рослини. Для цих потреб використовували різні прилади. Це гідравлічні преси, штампи, рулонні та тюкові преспідбирачі і таке інше [190]. Однак найбільш доцільним з погляду енергоємності та

металоємності все ж вважаються гвинтові прилади у різноманітних їхніх проявах [191, 192, 193]. При використанні у якості пресуючого органу гвинти чи гвинти постає проблема узгодження геометричних параметрів форми преса та дифузор [194]. Виходячи з того, що планується застосовувати двогвинтовий ущільнювач, то відповідно дифузор повинен мати форму наближену до конусу але розширену у горизонтальній площині. Саме ця форма дифузора зможе забезпечити процес повільного виходу з гвинтів рослинної сировини та подальшого поступового ущільнення при зменшенні поперечного перетину дифузора (рис. 3.45).

При застосуванні пресуючих пристроїв відомі дослідження, де мали місце обґрунтування форми формуючого елемента [167, 168, 194, 195]. В цих роботах обґрунтовані різні форми, а саме циліндрична, конічна, пірамідальна та форми складного профілю. Однак застосування цих формуючих елементів при закладанні ущільненої сировини на зберігання за допомогою двогвинтового ущільнювача не доцільно. Це пов'язано з необхідністю поступового зменшення площі перетину вихідного отвору з усіх боків з однаковою інтенсивністю.

Нижче запропоновано формуючий елемент який дозволить поступово зменшуючи площу перетину вихідного отвору рівномірно стискати рослинну сировину поступово вивільняючи повітря, що залишилось в рослинній сировині під час скручування в двогвинтовому ущільнювачі [196].

Важливою складовою визначення потужності двогвинтового ущільнювача, окрім витрат енергії на транспортування рослинної сировини, є визначення тиску в робочому каналі формуючого елемента. Окрім цього від рівномірності розподілення тиску в робочому каналі залежить і якість отриманої в результаті зберігання рослинної сировини.



Рис. 3.44 - Ущільнення рослинної сировини в двогвинтовому ущільнювачі

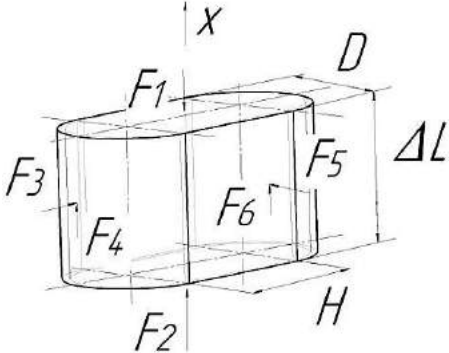
Як свідчать попередні дослідження значення коефіцієнтів внутрішнього (f_e) та зовнішнього (f) тертя рослинної сировини певною мірою являються функціями тиску [197]. Тому доцільно окремо розглядати кожну ділянку, приймаючи середні значення коефіцієнтів внутрішнього (f_e) та зовнішнього тертя (f), враховуючи, що вони змінюються в залежності від тиску. Система зусиль, що діють на виділені елементарні об'єми цих ділянок приведена в таблиці 3.1 та таблиці 3.2.

Початкова зона головки двогвинтового пресу приймає форму двох суміщених циліндрів з'єднаних прямокутниками для плавного переходу рослинної сировини зі гвинтової частини в формуючий елемент. Зазвичай ця ділянка має суто «накопичуючий» та «транспортуючий» характер. Це відбувається завдяки тому, що рослинна сировина потрапляє сюди вже структурованою та в деякій мірі ущільненою [83, 85, 198, 199].

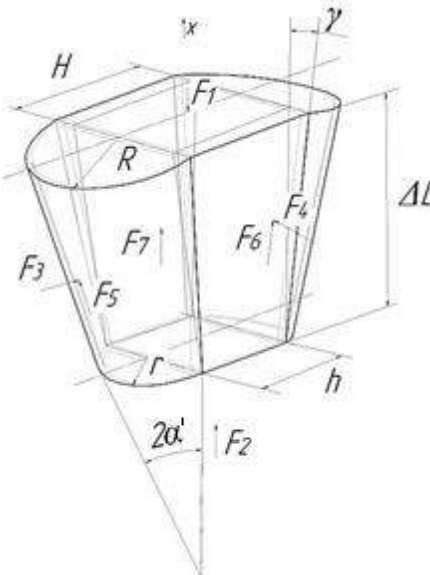
На цій ділянці можна вважати, що енергія, яка передається рослинній сировині, витрачається тільки на подолання зовнішнього тертя по поверхні

голівки. При цьому на об'єм рослинної сировини, що знаходиться в середині діють зусилля, які представлені на рис. 3.45 в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Схема зусиль, що діють на елементарні об'єми рослинної сировини, що ущільнюється в робочій зоні голівки

Форма каналу	Зусилля	Площі
 <p>Рис. 3.45 - Схема зусиль, що діють у голівці.</p>	$F_1 = \left(p + \frac{\Delta p}{2} \right) A_1;$ $F_2 = \left(p - \frac{\Delta p}{2} \right) A_2;$ $F_3 = A_3 p;$ $F_4 = F_{мер.1} = A_4 f p;$ $F_5 = A_5 p;$ $F_6 = F_{мер.2} = A_6 f p.$	$A_1 = A_2 = \frac{\pi D^2}{4} + HD;$ $A_3 = A_4 = \pi D \cdot \Delta L;$ $A_5 = A_6 = H \cdot \Delta L.$

Таблиця 3.2 - Схема зусиль, що діють на елементарні об'єми рослинної сировини, що ущільнюється в робочій зоні дифузора

Форма каналу	Зусилля	Площі
 <p>Рис. 3.46 - Схема зусиль, що діють у дифузори.</p>	$F_1 = A_1 \left(p + \frac{\Delta p}{2} \right);$ $F_2 = A_2 \left(p - \frac{\Delta p}{2} \right);$ $F_3 = A_3 p;$ $F_4 = A_4 p;$ $F_5 = F_{мер} = A_5 f p;$ $F_6 = F_{мер} = A_6 f p;$ $F_7 = F_{мер.вн.} = \frac{\Delta V \cdot \Delta L}{A_7} f_{вн.р.}$	$A_1 = 2RH + \pi R^2;$ $A_2 = 2rh + \pi r^2;$ $A_3 = A_5 = \frac{\pi(2R + 2r) \cdot \Delta L}{2 \cos \alpha'};$ $A_4 = A_6 = \frac{(H + h)\Delta L}{2 \cos \gamma};$ $A_7 = 2\Delta L(2r + h + \pi r);$ $\Delta V = \left(\frac{2(RH + \sqrt{RHrh} - 2rh)}{3} + \frac{4\pi(R^2 + Rr - 2rh)}{12} \right) \Delta L.$

Оскільки сума зусиль, що діють по вісі x дорівнює нулю, після математичних перетворень отримаємо вираз

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{4f(H + \pi D)}{\pi D + 4HD} \cdot \Delta L, \quad (3.110)$$

де p – зусилля, що діють на певній ділянці;

H – відстань між центрами циліндрів (рис. 3.46);

D – діаметр циліндру.

Проінтегрувавши залежність (3.110) від $-L/2$, де $F = F_1$, до $+L/2$ де $F = F_2$, отримаємо, що величина тиску в кінці ділянки з боку гвинту буде становити

$$F_2 = F_1 e^{\frac{fL(H + \pi D)}{\frac{\pi D^2}{4} + HD}} \quad (3.111)$$

Зазвичай профілююча ділянка наближено нагадує собою циліндр, який з двох боків під визначеним кутом вісесиметрично усічений похилими площинами, однак в нашому випадку профілююча або формуюча ділянка (дифузор) виглядає як усічений конус, який розділили навпіл та між цими частинами встановили дві пластини під кутом нахилу конусу (рис. 3.46, в таблиці 3.2). В нашому випадку діючі зусилля в цій частині витрачаються як на подолання зовнішнього тертя рослинної сировини по стінкам дифузора, так і на внутрішнє тертя рослинної сировини, що утворює пластичну деформацію в масі.

Таким же чином аналізуючи суму діючих зусиль по вісі x , які дорівнюватимуть нулю, після математичних перетворень та інтегрування отримаємо вираз

$$P_2 = P_1 e^{\frac{L \left(f \left(\frac{H+h}{\cos \gamma} + \frac{2\pi(R+r)}{\cos \alpha'} \right) + f_{\text{вн.}} \left(\frac{2(RH + \sqrt{RHrh} - 2rh)}{3} + \frac{4\pi(R^2 + Rr - 2rh)}{12} \right) \right)}{RH + \frac{\pi^2}{2} + rh - \frac{\pi R^2}{2}}} \quad (3.112)$$

Отримавши вираз для визначення зусиль опору в дифузорі та маючи коефіцієнти внутрішнього опору та тертя по металічній поверхні матеріалів рослинного походження нескладно розрахувати потужність приводу устаткування для ущільнення рослинної сировини [199-204].

3.2.6 Продуктивність двогвинтового ущільнювача з однобічним обертанням гвинтів

При розрахунках продуктивності гвинтових пристроїв не виникає проблем, оскільки проблема транспортування матеріалів у гвинтовому пристрої вивчена в достатній мірі.

Одними з перших досліджень з визначення продуктивності гвинтових пресів були роботи Королева К. М. і його співавторів [205, 206], у яких окрім визначення продуктивності пресу вказується залежність споживаної технологічної потужності від властивостей сировини і конструкції робочих деталей.

В даних роботах продуктивність пресу зводиться до представлення процесу руху маси в гвинтовому робочому органі аналогічно руху "гайки на гвинті", тобто об'ємна продуктивність виражається як добуток поперечного перерізу матеріалу в каналі гвинту на швидкість його осьового переміщення

$$Q = \frac{P}{4} (D^2 - d^2) (S - d) n K_\phi, \quad (3.113)$$

де D , d – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри гвинту, м;

S – крок гвинтової поверхні гвинту, м;

δ – товщина лопаті, м;

n – швидкість обертання гвинту, об/хв.;

K_ϕ – коефіцієнт подачі, що враховує зменшення дійсної продуктивності у порівнянні із розрахунковою.

Тієї ж думки дотримувалися і такі вчені як Сапожніков М. Я. [207], Ільєвич А.П. [208] та ін.

Основним недоліком залежності (3.108) є те, що не враховується вплив голівки, мундштука і створюваного гвинтом тиску на продуктивність пресу, не дивлячись на те, що цей вплив у той час вже був описаний закордонними вченими Mallouk R. S. та McKelvey J. M..

У роботі по механічному обладнанню [209] Сапожніков М. Я. детально зупинився на вивченні роботи стрічкових пресів. Тут розрахунок продуктивності проводиться виходячи з теоретичного об'єму маси, що подається гвинтом за один оберт, при цьому вводиться величина α , як функція від тиску в голівці p , і коефіцієнт k

$$Q = 3600 \frac{P}{4} (D^2 - d^2) (S - d) (1 - \alpha) n K, \quad (3.114)$$

де K – коефіцієнт, що враховує обертання, повертання та недостатню подачу матеріалу, $K=0,2-0,35$;

α – відносне зменшення об'єму маси в результаті ущільнення.

Перевагами даної методики є той факт, що вона вже враховує вплив тиску, що виникає у оброблюваному матеріалі під час екструзії внаслідок опору руху в голівці та мундштуці.

Виходячи з аналогії руху «гайка по гвинту» визначають продуктивність одно гвинтового пресу і автори Darnell W.H. та Mol E.A. [210]. Їх рівняння має наступний вигляд

$$Q = \pi D H (D - H) \frac{\operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \varphi} n, \quad (3.115)$$

де H – глибина гвинтового каналу, м;

φ – кут підйому гвинтової лінії, град.

За їх теорією шар матеріалу залишається у безпосередньому контакті з оточуючими його поверхнями циліндру та гвинту, а його рух визначається зусиллями тертя між шаром матеріалу та металевими поверхнями. Автори виражають швидкість руху шару матеріалу через кут θ , який являє собою кут

між напрямом руху шару матеріалу та площиною, що перпендикулярна до осі гвинту (рис. 3.48). Зі збільшенням кута θ підвищується і продуктивність гвинту.

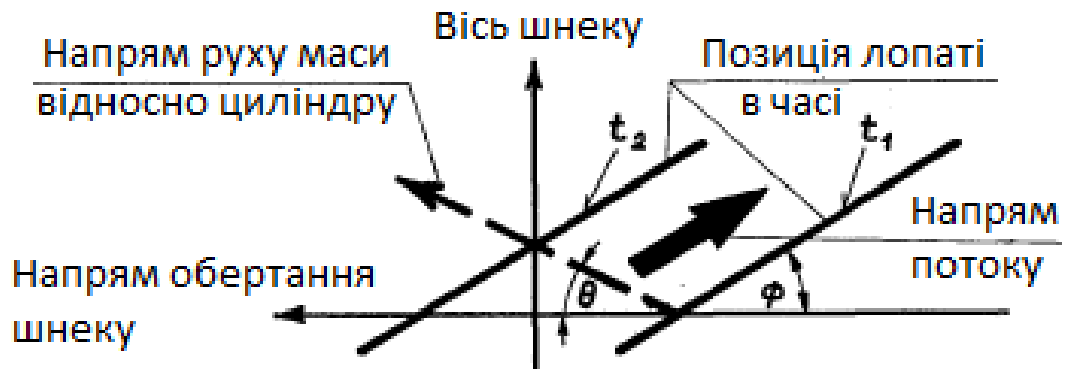


Рис. 3.47 – Рух шару матеріалу з боку верхньої точки гвинтового каналу за Дарнеллом та Молом.

Основний недолік вищезгаданих робіт полягає в тому, то вони не враховують зниження продуктивності пресу із-за зворотного потоку маси по гвинтовому каналу гвинта і по радіальному проміжку внаслідок різниці тиску по довжині гвинта.

Веск Н. [211] одним з перших дав математичну залежність продуктивності, яка враховує зворотний потік Q_p внаслідок різниці тиску і потік витоку Q_L , вважаючи, що гвинт має постійні розміри такі як крок, глибина каналу і тому подібне по усій довжині.

Дійсну продуктивність пресу Веск Е. пропонує визначає як

$$Q = \frac{n}{2} \pi D t Z \frac{h}{Z-b} \cos^2 \alpha - \frac{1}{12L} t^3 Z \frac{h}{Z-b} \sin \varphi \cos \varphi \frac{\Delta p}{\rho} - \frac{\pi^2 D^2 S^3 \operatorname{tg} \varphi \Delta p}{10 \rho b L} \times \frac{\Delta p}{\rho}, \quad (3.116)$$

де Z – кількість заходів витків гвинту;

D, L – діаметр і довжина гвинту, м;

h, t – крок та глибина гвинтового каналу, м;

b, S – ширина лопатей та радіального зазору, м;

n – швидкість обертання гвинту, с^{-1} ;

φ – кут підйому гвинтової лінії гвинту, град;

Δp – різниця у тиску по довжині гвинту, МПа;

ρ – щільність матеріалу, що перероблюється, МПа·с.

В цій залежності прямий потік маси в наслідок обертання гвинту складає

$$Q_{np} = \frac{n}{2} \pi D t Z \frac{h}{Z-b} \cos^2 \alpha, \quad (3.117)$$

Тоді як зворотній потік у гвинтовому каналі з-за різниці у тиску вздовж гвинту складає

$$Q_p = \frac{1}{12L} t^3 Z \frac{h}{Z-b} \sin \varphi \cos \varphi \frac{\Delta p}{\mu}, \quad (3.118)$$

Позначивши константи через α , β , γ , для визначення дійсної продуктивності одnogвинтового екструзійного обладнання Векс пропонував користуватися виразом

$$Q = \alpha n - \beta \frac{\Delta p}{\mu} - \left(\frac{\Delta p}{\mu} \right)^2 \gamma, \quad (3.119)$$

Остання залежність виявилася дійсною у багатьох ситуаціях, завдяки чому у полімерників вона залишається до теперішнього часу [212].

Вперше рівняння для розрахунку продуктивності двогвинтового екструдера було запропоновано Г. Шенкелем [213] у вигляді

$$Q_{max} = i N h (2\pi - \alpha') (\pi D t g \alpha - e) (D - h), \quad (3.120)$$

де i – кількість заходів гвинтової нарізки;

N – швидкість обертання гвинтів;

D , h , α – зовнішній діаметр, глибина та кут підйому гвинтового каналу відповідно;

α' – кут перекриття, який визначається за формулою

$$\cos \alpha' = 1 - \frac{2h}{D-h} + \frac{h^2}{1(D-h)^2}. \quad (3.121)$$

Рівняння (3.115) визначає продуктивність двогвинтового екструдера для крайнього випадку, коли С-подібні секції гвинтів ізольовані одна від іншої, та увесь матеріал, що заповнює цей об'єм, виштовхується за один оберт.

Однак в нашому випадку, а саме забезпечення самоочищення гвинтів, необхідне деяке перекриття гвинтів і, як наслідок, перетин С-подібних секцій. На додаток до цього відсутність ізольованості С-подібних секцій вимагає наявності зазорів між гвинтами (витками). Саме наявність зазорів викликає створення переподрібнення та витoku матеріалу через них підчас виникнення певного опору при ущільненні.

При вивченні продуктивності багатогвинтових ущільнювачів дослідники [214, 215, 216] виявили вплив конструкційних параметрів на показники цих пристроїв. Результати цих досліджень показали, що витoki з С-подібних секцій зазвичай відбуваються через бічні та, так звані, валкові зазори зачеплення гвинтів. Причиною тому є наявність градієнту тиску $(dp/dz)_k$ вздовж гвинтового каналу, що є наслідком замикання гвинтового каналу, який спрягається з іншим гвинтом та опором руху матеріалу у формуючому інструменті (дифузорі).

Треба також прийняти до уваги той факт, що виток, який замикає гвинтовий канал, розвиває уздовж нього градієнт тиску, тоді як від опору формуючого інструменту виникає градієнт тиску $(dp/dz)_w$, напрямком якого протилежний напрямку $(dp/dz)_k$. Величина $(dp/dz)_w$ є постійною. У всякому разі градієнт тиску у гвинтовому каналі можна виразити як

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_K = \left(\frac{dp}{dz}\right)_{KS} + \left(\frac{dp}{dz}\right)_W. \quad (3.122)$$

Також слід відмітити той факт, що градієнт тиску у гвинтовому каналі буде залежати від коефіцієнта щільності зчеплення гвинтів.

Наявність витоків або переподрібнень (у разі ущільнення сухих компонентів із довжиною надто більшою за діаметр) буде причиною того, що дійсна продуктивність буде нижчою за максимальну, розраховану за рівнянням (3.115). Тому для розрахунку продуктивності з урахуванням витоків доцільним буде застосування рівняння

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{max}} - Q_C - Q_{\delta}, \quad (3.123)$$

де Q_{max} – максимальна продуктивність двогвинтового ущільнювача;

Q_C – сумарний виток з С-подібних секцій;

Q_δ – виток через радіальний зазор δ між поверхнями кожуху та гребня гвинта.

Для розрахунку сумарного витoku з С-подібних секцій Константинов В. Н. [217] пропонує наступний вираз

$$Q_C = 2i \int_0^W \int_0^h v_{zk} dx dy, \quad (3.124)$$

де v_{zk} – швидкість руху матеріалу у здовж вісі гвинту;

$$v_{zk} = \frac{4DN \cos \alpha}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{1}{2m+1} \frac{\operatorname{sh}\left(\frac{2m+1}{W} \pi y\right)}{\operatorname{sh}\left(\frac{2m+1}{W} \pi h\right)} \sin\left(\frac{2m+1}{W} \pi x\right) \right] - \frac{\pi DN}{\cos \alpha} + \frac{1}{\mu_k} \left(\frac{dP}{dz}\right)_K \times$$

$$\times \left\{ \frac{y^2}{2} - \frac{yh}{2} + \frac{4h^2}{\pi^3} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2m+1)^3} \frac{\operatorname{ch}\left[\pi(2m+1) \frac{2x-W}{2h}\right]}{\operatorname{ch}\left[\pi(2m+1) \frac{W}{2h}\right]} \sin\left(\frac{2m+1}{h} \pi y\right) \right] \right\} \quad (3.125)$$

Проінтегрувавши вираз (3.119) і після підстановки в нього залежності (3.120) отримаємо наступний вираз

$$Q_C = -2\pi h(t - ie) \left[D \left(1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2} F_d F_c - h \right) \right] \times$$

$$\times N - \frac{h^3(t - ie) F_p \cos \alpha}{6\mu_K} \left(\frac{dp}{dz}\right)_K, \quad (3.126)$$

де F_d , F_c , F_p – коефіцієнти, що враховують вплив бічних стінок та кривизну гвинтового каналу на рух матеріалу;

$$F_d = \frac{16W}{\pi^3 h} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2m+1)^3} \operatorname{th} \frac{(2m+1)\pi h}{2W} \right], \quad (3.127)$$

$$F_p = 1 - \frac{192h}{\pi^5 W} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2m+1)^5} \operatorname{th} \frac{(2m+1)\pi W}{2h} \right], \quad (3.128)$$

$$F_c = \frac{D}{2h} - \frac{\ln \frac{1}{1 - \frac{2h}{D}}}{\frac{h}{D} \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{2h}{D}} \right)^2 \right]^{-1}} \quad (3.129)$$

D – зовнішній діаметр;

h – глибина гвинтового каналу;

W – ширина гвинтового каналу;

t – крок гвинту;

i – кількість заходів гвинту;

e – ширина гребня гвинту;

α – кут нахилу гвинтового каналу.

Для розрахунку витоків через радіальний зазор можна використати вираз, який буде розглядати радіальний зазор як виток через плоску щілину, а саме

$$Q_\delta = \frac{\left[\pi - 2 \arccos \left(\frac{A}{D} \right) \right] D \delta^3}{6 \mu_\delta \cos \alpha} \frac{\Delta p}{L}, \quad (3.130)$$

де A – міжвісева відстань гвинтів;

L – довжина зони ущільнення по осі гвинта;

Δp – перепад тисків у формуючому елементі (дифузорі);

μ_δ – ефективна в'язкість матеріалу;

$$\mu_\delta = \dot{\gamma} = \frac{\pi D N}{\delta}. \quad (3.131)$$

Використання вищенаведених залежностей дозволить розширити теоретичні відомості щодо використання в процесах ущільнення рослинної сировини двогвинтовими ущільнювачами, а також адаптувати їх для процесу

ущільнення рослинної сировини гвинтовими пристроями в галузі тваринництва.

Однак слід враховувати той факт, що продуктивність гвинтового ущільнювача буде залежати не лише від продуктивності самого гвинта а ще і від пропускної здатності дифузора. Зменшення продуктивності гвинта буде відбуватися за рахунок перетікання ущільнюваного матеріалу з зони ущільнення в зону завантаження. При цьому також можуть відбуватися повертання ущільнюваного матеріалу разом із гвинтами.

В загальному випадку вираз для визначення продуктивності гвинтових ущільнювачів подають у вигляді [218-225]

$$Q = 3600 \frac{K_{\phi} \cdot K_{зв.1}}{K_{зв.2} + K_{\phi}} \cdot \omega \cdot \rho, \quad (3.132)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт геометрії формуючого органу;

$K_{зв.1}, K_{зв.2}$ – параметри геометрії гвинтового нагнітача, м^3 ;

ω – швидкість обертання гвинта, с^{-1} ;

ρ – щільність кормового матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Враховуючи той факт, що перший гвинт двогвинтового ущільнювача виконує лише роль структурування часток для визначення його продуктивності можна застосовувати вирази, які застосовують для одногвинтових пристроїв. Однак необхідно враховувати особливості формуючих органів.

$$K_{зв.1} = \frac{\pi \cdot D \cdot \cos \lambda \cdot B \cdot H}{2}, \quad (3.133)$$

$$K_{зв.2} = \frac{B \cdot H^3}{12 \cdot L}, \quad (3.134)$$

де D – діаметр внутрішньої поверхні корпусу, м;

λ – кут підйому гвинтової лінії гвинта;

B – ширина гвинтового каналу, м;

H – висота гвинтового каналу, м;

L – довжина гвинтового каналу, м.

В нашому випадку, залишається невідомим коефіцієнт геометрії формуючого органу. Оскільки формуючий орган не є стандартним, то розрахувати цей коефіцієнт можна через формулу для надходження тиску в передматричному просторі.

$$\Delta p = \frac{K_{зв.1}}{K_{зв.2} + K_{\phi}} \cdot \mu \cdot \omega, \quad (3.135)$$

де μ - в'язкість кормового матеріалу в дифузорі, Па·с;

В свою чергу тиск в передматричному просторі це і є тиск опору формуючого органу (3.134), тобто $\Delta p = P_2$. Звідси можемо виразити коефіцієнт геометрії формуючого органу.

$$K_{\phi} = \frac{K_{зв.1} \cdot \mu \cdot \omega}{P_2} - K_{зв.2}. \quad (3.136)$$

Виходячи з вищенаведеного продуктивність дифузора визначиться за формулою [218, 219, 221, 225]

$$Q_d = \frac{K_{\phi} \cdot P_2}{\mu}. \quad (3.137)$$

Після визначення коефіцієнту геометрії дифузору, можна розрахувати продуктивність двогвинтового ущільнювача зробивши необхідні підстановки в формулу (3.132) [202, 226, 227]

$$Q = 3600 \frac{\left(\frac{K_{зв.1} \cdot \mu \cdot \omega}{P_2} - K_{зв.2} \right) \cdot K_{зв.1}}{K_{зв.2} + \left(\frac{K_{зв.1} \cdot \mu \cdot \omega}{P_2} - K_{зв.2} \right)} \cdot \omega \cdot \rho. \quad (3.138)$$

Отримана продуктивність гвинтового ущільнювача може із достатньою точністю описувати вплив фізико-механічних властивостей матеріалу та конструктивно-технологічних параметрів.

3.3 Висновки по розділу

1. Аналіз технологічних засобів задля забезпечення ефективного видалення або уникнення пустих прошарків з кормової маси зумовлює необхідність вдосконалити теоретичні передумови процесу ущільнення кормової маси, і саме у цьому напрямку продовжувати свої дослідження.

2. Розроблено математичні моделі процесів ущільнення рослинної сировини в клиноподібному каналі ущільнюючої камери. Представлені та вирішені залежності деформації матеріалу під впливом тиску ущільнюючого поршня та швидкості деформації як в прямолінійній частині так і в звуженій частині ущільнювальної камери. Виявлені залежності напружень маси та зміну щільності за висотою під цим впливом із застосуванням розв'язку бігармонійних потенціальних функцій Попковіча - Нейбера.

Аналіз графіків показує, що при положенні ущільнюючого поршня суто у вертикальному положенні розподіл зусиль більш рівномірний ніж при будь-якому відхиленні, яке відображене у збільшенні зусиль із боку матеріалу відповідно або у верхній частині або у нижній частині ущільнювальної камери.

3. Виявлена нерівномірність розподілу щільності за висотою (рис. 3.28 – 3.30) дозволила дійти висновку щодо необхідності подальшого вирівнювання щільності за рахунок гвинтового відокремлення, що в свою чергу підвищить рівномірність внесення консервантів та виконання структурування часток ущільнюваного матеріалу, яке і було розглянуто в залежностях (3.79).

4. Представлено схему руху часток у двогвинтовому ущільнювачі рослинної сировини із однобічним обертанням гвинтів, яка дозволяє отримати уяву про процеси, що відбуваються при скручуванні рослинної сировини в двогвинтовому ущільнювачі із однобічним обертанням.

5. В зв'язку з необхідністю поступового зменшення площі перетину вихідного отвору з усіх боків з однаковою інтенсивністю запропоновано формуючий елемент який дозволить поступово зменшуючи площу перетину вихідного отвору рівномірно стискати рослинну сировину поступово вивіль-

няючи повітря, що залишилось в рослинній сировині під час скручування в двогвинтовому ущільнювачі.

б. Враховуючи той факт, що при застосуванні двогвинтових ущільнювачів перекриття гвинтового простору відбувається практично на третину, ми вважаємо, що суттєвих витрат енергії на транспортування рослинної сировини від одного гвинту до іншого відбуватися не буде, або принаймні вони будуть не значні у порівнянні із витратами енергії на зміну напрямку при боковій подачі. Тому розрахунки витрат енергії можна вести, як для одногвинтового транспортеру, при цьому відстань між гвинтами використовувати для структурування потоку рослинної сировини.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАГОТІВЛІ КОНСЕРВОВАНИХ КОРМІВ

4.1 Програма та методика лабораторних і експериментально-виробничих досліджень

Об'єкт досліджень. Устаткування для ущільнення та пакування рослинної сировини в полімерні сховища із дозованим внесенням сипкого консерванту.

Мета досліджень. Метою експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних передумов процесу підготовки консервованої рослинної сировини при закладанні на зберігання в полімерні сховища, який полягає у визначенні оптимальних конструкційно-технологічних параметрів і режимів роботи устаткування для підготовки рослинної маси для консервування, зокрема, пресу попереднього ущільнення, дозатора консервантів і двогвинтового ущільнювача, та перевірка його працездатності у експериментально-виробничих умовах.

Завдання:

— визначити оптимальні параметри та режими роботи пресу попереднього ущільнення рослинної сировини;

— визначити оптимальні параметри та режими роботи двогвинтового ущільнювача рослинної сировини;

— визначити оптимальні параметри та режими роботи дозатору консерванту.

— виконати перевірку пресу попереднього ущільнення рослинної сировини у лабораторних умовах, визначити його енергетичну і економічну ефективності;

— виконати перевірку двогвинтового ущільнювача рослинної сировини у лабораторних умовах, визначити його енергетичну і економічну ефективності;

— виконати перевірку дозатору консерванту у лабораторних умовах, визначити його енергетичну і економічну ефективності;

— провести лабораторний аналіз складу поживних речовин у закладеній рослинній сировині.

4.1.1 Програма досліджень

Використання застарілої зношеної техніки, а також брак паливно-мастильних матеріалів є причиною того, що консервовані корми закладаються з більшою довжиною різки, до того ж в пізніші строки. Відсутність засобів механізації для консервування зелених кормів вимагає додаткового виконання лабораторних і експериментальних досліджень для їх створення [228].

Програмою лабораторних і експериментальних досліджень передбачено визначити.

Для лабораторних досліджень:

- модуль пружності зсуву стебел, сформованих в пучок;
- модуль пружності згину стебел, сформованих в пучок;
- модуль в'язкості рослинної сировини;

Для експериментальних досліджень устаткування для підготовки рослинної маси для консервування в полімерних сховищах і перевірки його роботи у виробничих умовах при роботі з різними видами кормів необхідно визначити кількісні і якісні показники виконання технологічного процесу та енергозатрат:

— для пресу попереднього ущільнення у залежності від кута нахилу верхня формуюча стінка пресувальної камери і швидкості подачі маси визначаються:

- щільність маси в кінці процесу ущільнення;
- продуктивність процесу;
- споживану потужність;
- енергоємність процесу ущільнення.

— для барабанного дозатора консервантів для різного розміру часток у залежності від частоти обертання дозуючого барабану і діаметрів отворів його решета знаходяться:

- продуктивність процесу;
- споживану потужність;
- енергоємність процесу дозування;
- якісні показники виконання процесу.

— для двогвинтового ущільнювача рослинної сировини у залежності від частоти обертання гвинтів, відношення висоти вхідного отвору до діаметра гвинта та початкової щільності маси визначаються :

- щільність маси в кінці процесу ущільнення;
- продуктивність приготування корму до консервування;
- споживану потужність;
- енергоємність процесу.

4.1.2 Методика виконання лабораторних досліджень

4.1.2.1 Методики визначення фізико–механічних властивостей рослинної сировини

До фізичних властивостей рослинних матеріалів відносять вологість, гранулометричний склад або розмірні дані, щільність, об'ємну масу та ін.

Опір рослинної сировини прикладеним зовнішнім навантаженням, в залежності від тиску та швидкості, релаксація напружень, в'язкість та інші властивості відносять до механічних властивостей. Зазвичай такі властивості виражаються відповідними коефіцієнтами або залежностями [229].

Вихідним матеріалом при проведенні досліджень була люцерна у фазі цвітіння та бутонізації.

Основні фізико–механічні властивості рослинної сировини визначалися відповідно до діючих методик [230-232].

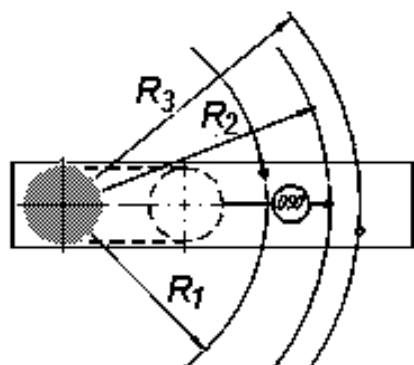
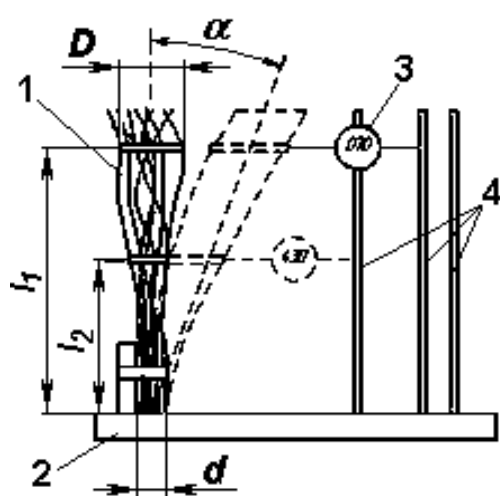
Необхідна кількість дослідів при надійності досліду 0,95 дорівнювала трьом [233]. При цьому відносна похибка середнього арифметичного не перевищувала 5 %.

Однак для визначення та опису цих властивостей (модулю зсуву, моменту інерції перетину пучка стеблин та модулю пружності) при вигині та

скручуванні не вистачає даних. Саме тому вважається за доцільне створення методики визначення вище приведених властивостей для підтвердження гіпотези про зменшення пружного ефекту при ущільненні рослинної сировини методом скручування.

4.1.2.2 Методики визначення модулю пружності зсуву, згину та в'язкості стеблових кормів

Стенд для визначення модулю пружності зсуву G та згину E представлений на рис. 4.1.



а)



б)

Рис. 4.1 – Схема визначення модулю пружності зсуву G : а) схема до визначення; б) натуральне проведення дослідів; 1 - пучок досліджуваного матеріалу; 2 - рама стенду; 3 - динамометр; 4 - стрижні для фіксації кута повороту та згину.

Проведення дослідів проводилося у трикратній повторюваності на трьох пучках із масами навіски відповідно у 490 г, 495г та 540г.

Для визначення коефіцієнту в'язкості (та модулю пружності) рослинної сировини користуємося наступною методикою [234], яка передбачає замір амплітуди затухаючих коливань зразку визначеної довжини і діаметру на стенді з осцилятором та аналогово – цифровим перетворювачем, який пов'язаний із персональним комп'ютером для виведення даних.

Після отримання цифрових даних будується графік згідно якого беруться дані амплітуди та періоду власних коливань. Далі за формулами (4.1, 4.2) визначається модуль пружності та коефіцієнт в'язкості.

Схема стенду для визначення затухаючих коливань рослинної сировини представлена на рис. 4.2

$$E = \frac{8}{45d^4\pi\tau^2} \left(360l^3m\pi^2 - 90l^3m \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2 \right) + \sqrt{30} \times \sqrt{l^6 \left(4\pi^2 - \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2 \right) \left(\pi^2 (1080m^2 + 13d^4gl\tau^2\rho^2) - 270m^2 \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2 \right)} \quad (4.1)$$

$$\mu = - \frac{8l(135Em + 52gl^4\pi\rho^2) \ln \left(\frac{a2}{a1} \right)}{135d^2E\pi\tau} \quad (4.2)$$

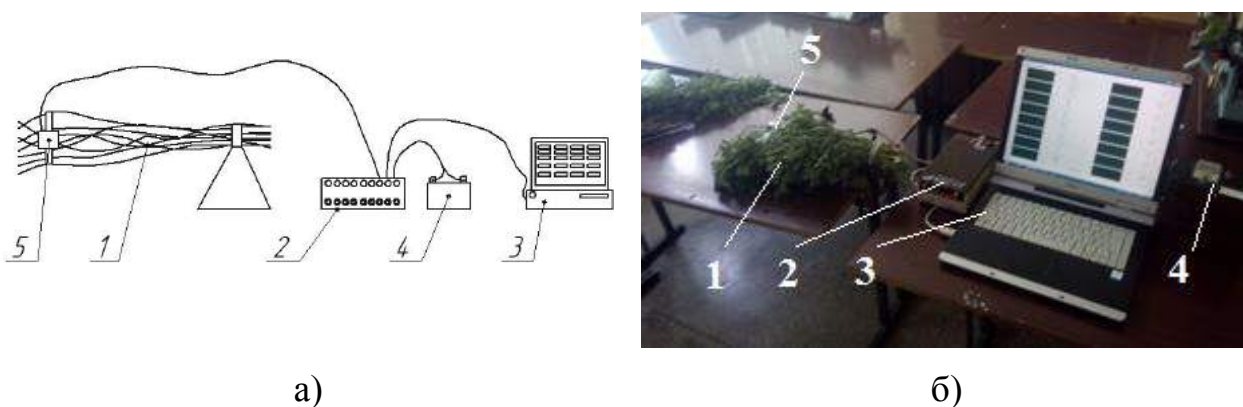


Рис. 4.2 – Схема стенду для визначення затухаючих коливань (а), натуральний вигляд стенду (б): 1 – досліджуванний зразок; 2 – АЦП; 3 – персональний комп'ютер; 4 – блок живлення АЦП; 5 – датчик – осцилятор.

Досліджені параметри фізико-механічних властивостей дають змогу провести перевірку теоретичних передположень щодо розрахункових значень модулів пружності та в'язкості досліджуваних матеріалів.

4.2 Методика обґрунтування параметрів технологічного устаткування

Основні фізико–геометричні властивості рослинної сировини визначали за загальновідомими методиками [230, 231, 232].

Характеристика рослинної маси визначалась згідно методик по ГОСТ 23687-90 [235], ГОСТ 23638-90 [236], ГОСТ 28305-89 [237], ОСТ 46 170-84 [238], ОСТ46 202-85 [239], КНД-46.16.01.05-93 [240], КНД-46.16.02.08-95. При цьому відмічалися: культура з якої був заготовлений корм, і фаза її розвитку, вологість і об'ємна маса, фракційний склад при розділі часток на класи — до 20; 21...30; 31...40; 41...50 мм і більше від 50 мм. Визначають масу по класам і підраховують їх відсоткове співвідношення [241].

Експериментальні дослідження устаткування для підготовки рослинної маси для консервування в полімерних сховищах проводилися відповідно методики КНД 46.16.02.08-95 (Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань). При цьому визначалися умови випробувань — температура і відносна вологість повітря, швидкість вітру.

Відповідно методик ГОСТ 23687-90 (Машини і трактори сільськогосподарські та лісові. Правила прийому на випробування) [242] та КД 46.16.01.05-93 (Випробування сільськогосподарської техніки. Порядок проведення та оформлення результатів випробувань техніки, що випускається для сільського господарства. Основні положення) оцінювалася готовність установки до випробувань, виконувалися дослідження та оформлення результатів випробувань.

4.2.1 Експериментальне устаткування

На основі результатів проведених лабораторних досліджень був розроблений експериментально–виробничий зразок устаткування для підготовки рослинної маси для консервування в полімерних сховищах з внесенням консерванту і ущільнення маси (рис. 4.3).

Він складається з рами 1 на якій встановлено прес попереднього ущільнення рослинної маси 2, дозатор консервантів 3 і двогвинтовий ущільнювач 4, з'єднані в один технологічний ланцюг.

Всі виконуючі механізми працюють від регульованих електроприводів, управління роботою яких здійснюється в автоматично і дублюється ручним режимом із загального пульта керування роботою установки.

Згідно з розробленою технологічною лінією було розроблено технологічний регламент для лінії ущільнення та пакування рослинної сировини із внесенням консерванту у полімерні сховища (додаток А).

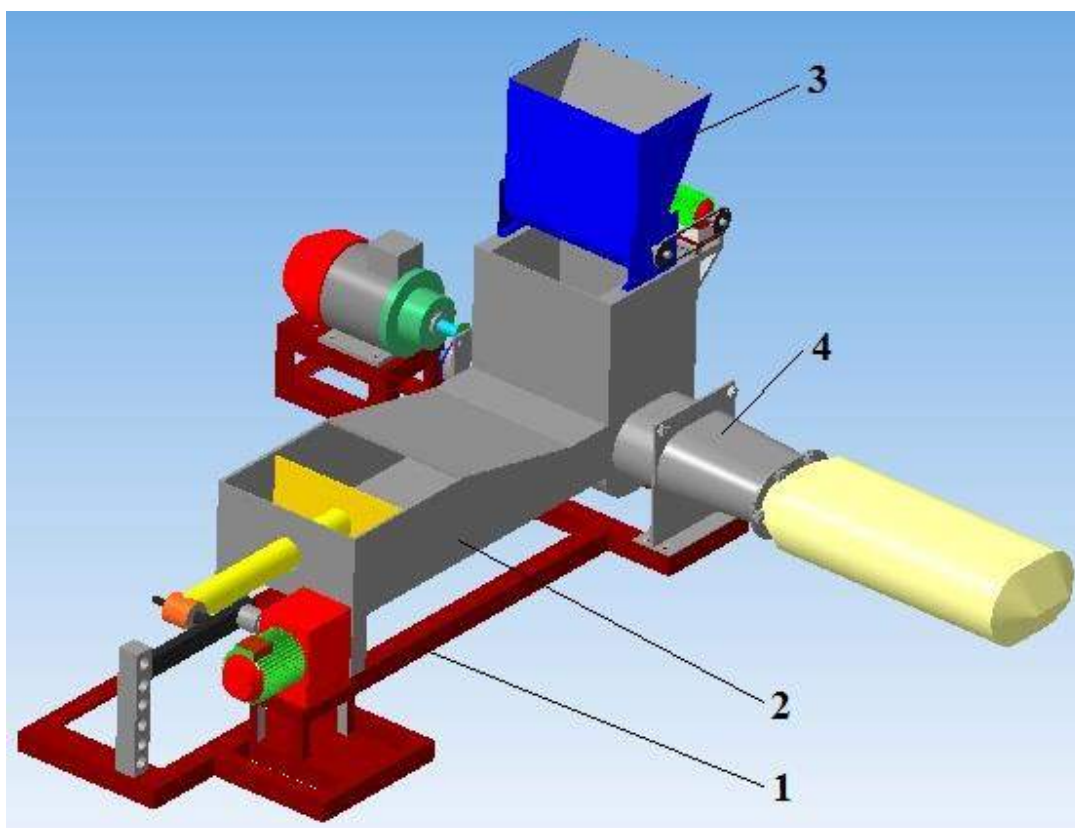
Технологічний процес підготовки рослинної маси для консервування в полімерні сховища відбувається таким чином (рис. 4.3). Рослинна сировина подається в приймальну камеру пресу попереднього ущільнення 2, звідки під дією поршня в ущільненому вигляді, порціонно подається в двогвинтовий ущільнювач 3, над яким розмішено дозатор для внесення пиловидного консерванту 4. Гвинти, розташовані в ущільнювачі пошарово відокремлюють рослинну сировину, яка подається з пресу попереднього ущільнення, та структурують її частки. При пересуванні структурованої рослинної маси від одного гвинта до іншого відбувається внесення консерванту. Далі маса із внесеним консервантом подається до дифузору, перед яким відбувається скручування шару рослинної маси. Після чого скручена маса подається через дифузор, де ущільнюється, в полімерні сховища.

Під час проведення досліджень використовувалося наступне устаткування: ваги шкальні РН-50ШВП-1, ваги електронні, ваги лабораторні квадратні ВЛК-500-М, мішечки для взяття проб, ящик для визначення об'ємної маси, штангенциркуль, лінійка інженерна, секундомір типу S 0,2.

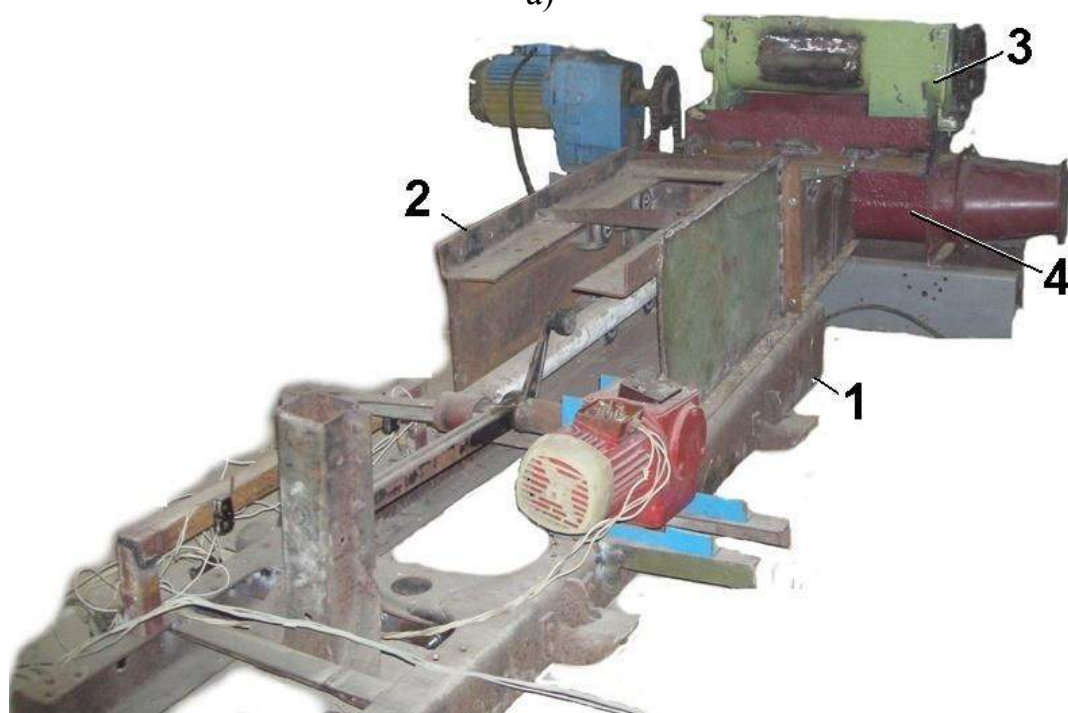
Ваги до 500 кг.

Ваги циферблатні РН-10Ц13У ТУ 25.06.575-70;

Ваги лабораторні технічні квадрантні ВЛТК-500;



а)



б)

Рис. 4.3 – Устаткування для підготовки рослинної маси для консервування в полімерних сховищах: а – конструктивно-технологічна схема; б – загальний вигляд; 1 - рама; 2 - прес попереднього ущільнення рослинної маси; 3 - дозатор консервантів; 4 – двогвинтовий ущільнювач.

Тахометр стрілочний ТЧ–10Р ГОСТ 21339;

Секундомір механічний СОПр-2а-3-000 «Агат» 4282 ГОСТ 5072-79;

Лінійка металева 0–500 мм ГОСТ 427–75;

Рулетка металева типу Р2 ГОСТ 7502–80;

Штангенциркуль типу ШЦ 0–150, ГОСТ 166-80;

Фотоапарат;

Металева місткість $V = 0,15 \text{ м}^3$;

Вимірюваний комплект типу К-50 ГОСТ 8711, ГОСТ 8476.

Вимірювального стенд із перетворювачем частоти Danfoss VLT Micro FC51 із програмним комплексом МСТ-10.

4.2.1.1 Прес попереднього ущільнення

На основі результатів проведених лабораторних досліджень був розроблений експериментально–виробничий зразок пресу, призначеного для подавання і одночасного ущільнення зібраної рослинної сировини до двогвинтового ущільнювача для остаточного структурування та внесення консерванту (рис. 4.4).

Конструктивно його вузли змонтовані на загальній рамі 1 устаткування для підготовки рослинної маси для консервування, і складається з приймально–формуючої камери 2, пресувальної камери 3, яка закінчується регульованим вивантажувальним вікном на вході в двогвинтовий ущільнювач (рис. 4.4).

В пресувальній камері прямокутного перерізу є змога змінювати кут нахилу поворотом верхньої формуючої стінки 7, що дозволяє змінюючи висоту вихідного вікна пресувальної камери, регулювати ступінь ущільнення маси. До преса попереднього ущільнення також входить поршень 4, гвинтовий механізм переміщення поршня 5 та електроприводний мотор–редуктор 6 з регулюванням частоти обертання.

Загалом електрообладнання пресу попереднього ущільнення рослинної сировини складається з пуско–захисної апаратури для вмикання та вимикання

електродвигуна. Управління роботою електроприводом відбувається в автоматичному режимі за допомогою кінцевих перемикачів і дублюється ручним режимом із загального пульта керування роботою установки.

При роботі преса–подавача поршень 4 механізмом приводу 5, який діє від електроприводного мотор–редуктора 6 відводиться у вихідне положення за межі приймально–формуючої камери 2 і зупиняється. Після цього приймально–формуюча камера 2 за допомогою транспортера або в інший засіб заповнюється рослинною масою, створюючи певну порції для подальшого пресування. Далі вмикається привод мотор–редуктора 6 і поршень 4 починає рухатися в сторону пресувальної камери 3 поступово ущільнюючи масу і подаючи її через регульоване вивантажувальне вікно до двогвинтового ущільнювача. Після переміщення поршня 4 у кінцеве положення вмикаються кінцеві перемикачі, після чого він знову повертається у вихідне положення. Далі процес повторюється з початку.

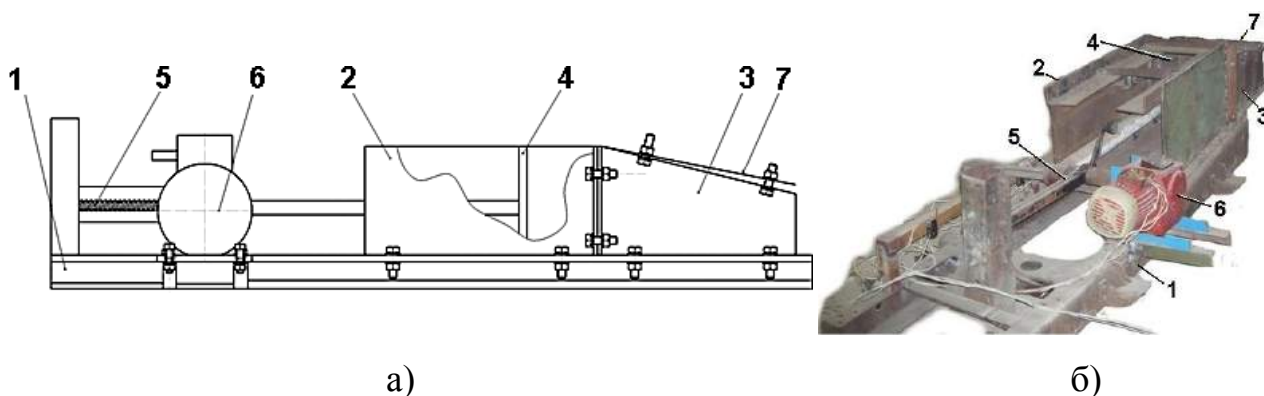


Рис. 4.4 – Прес попереднього ущільнення рослинної сировини: а – конструктивно–технологічна схема; б – загальний вигляд; 1 - рама; 2 – приймально–формуюча камера; 3 – пресувальна камера; 4 - ущільнюючий поршень; 5 – механізм приводу поршня; 6 - електроприводний мотор–редуктор; 7 – верхня формуюча стінка.

Таким чином при дослідженнях є змога змінювати ступінь ущільнення маси регулюючи нахил верхньої стінки приймальної камери і швидкість переміщення ущільнюючого поршня, яка виконується зміною частоти обертання електроприводного мотор–редуктора із загального пульта керування установкою.

4.2.1.2 Барабанний дозатор консервантів

Барабанний дозатор консервантів призначений для дозованого внесення пиловидного консерванту в попередньо ущільнену масу корму (рис. 4.5). Дозатор змонтований на загальній рамі устаткування для підготовки рослинної маси для консервування і складається з корпусу 1, на якому розташовано завантажувальний бункер 2; 3 - барабану; 4 - коміркової поверхні; 5 - вивантажувальної щілини; 6 – рами приводу; 7 - електроприводного мотору-редуктору; 8 - ланцюгової передачі.

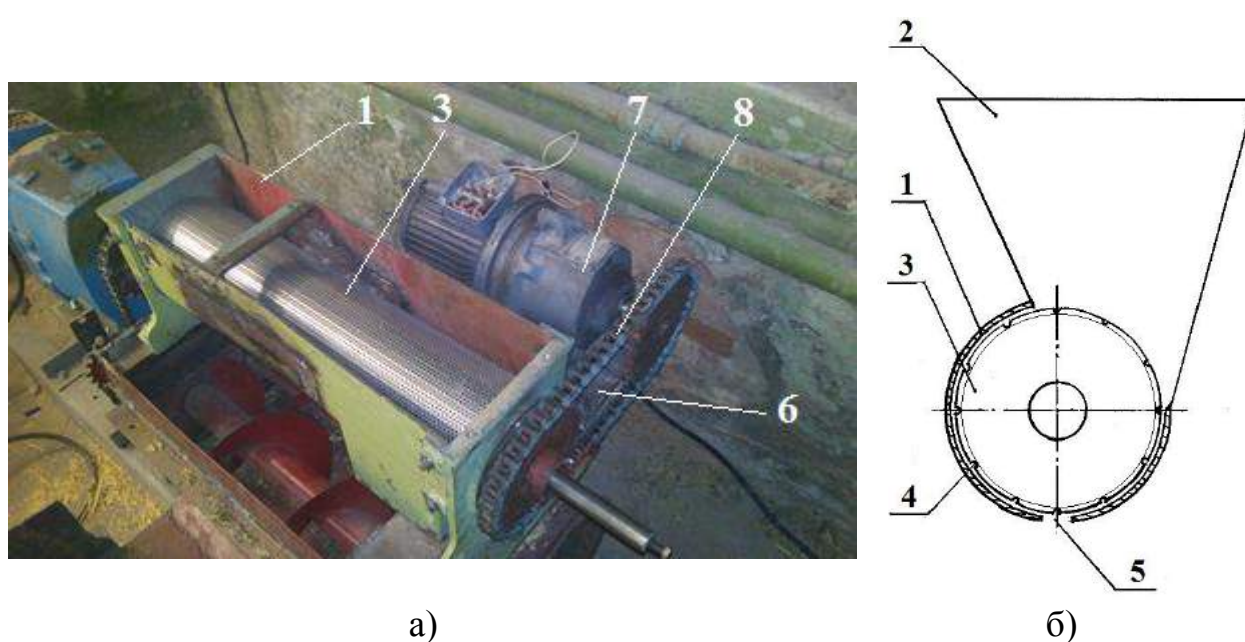


Рис. 4.5 – Дозатор для внесення пиловидного консерванту в масу корму: а – загальний вигляд; б – конструктивно-технологічна схема; 1 - корпус; 2 - бункер; 3 - барабан; 4 - коміркова поверхня; 5 - вивантажувальна щілина; 6 – рама; 7 - електроприводний мотор-редуктор; 8 - ланцюгова передача.

Курування електричною частиною процесу дозування виконується із загального пульта керування роботою установки.

Процес дозованої подачі консерванту відбувається наступним чином. Із завантажувального бункера 2 консервант захоплюється барабаном 3 за допомогою комірок поверхні 4 в зазор між барабаном та стінкою корпусу 1. При подальшому обертанні барабану консервант через вивантажувальну щілину 5 виводиться за межі корпусу 1 і потрапляє в структуровану рослинну сировину.

Регулювання норми внесення консерванту виконується застосуванням змінних дозуючих барабанів з різним діаметром комірок і зміною частоти обертання барабану, яке здійснюється з пульта керування у ручному режимі.

Експериментально виробничий зразок дозатора для внесення пиловидного консерванту в силосну масу має наступну технічну характеристику:

Технічна характеристика

1 Довжина барабану, мм	420
2 Діаметр барабану, мм	155
2 Діаметр комірок барабану, мм	3,5 - 5,5
3 Частота обертання барабану, об/хв.	16 - 82
6 Потужність приводу, кВт	1,2

4.2.1.3 Двогвинтовий ущільнювач рослинної сировини

Кінцевий процес підготовки рослинної маси до закладання на зберігання виконується двогвинтовим ущільнювачем, наведеним на рис. 4.6.

Двогвинтовий ущільнювач також закріплений на загальній рамі і конструктивно складається з рами 1, бункера 2 і прикріпленого до нього дифузора 3, до якого має змогу приєднуватись рамка з поліетиленовим (поліпропіленовим) мішком для зберігання консервованого корму. З іншого боку в бункері 2 розташований підшипниковий вузол 4. У середині бункера в підшипниковому вузлі 4 консольно закріплені два паралельно розташованих гвинта 5 одного кроку і напрямку навивки, які обертаються в одну сторону від електричного мотор–редуктора 6, через ланцюгову передачу 7, яка охоплює ведучу зірочку, закріплену на вихідному валу мотор–редуктора 6 і зірочки, що розташовані на вихідних кінцях валів гвинтів 5.

Управління роботою двогвинтовим ущільнювачем, зокрема зміна частоти обертання гвинтів, здійснюється у ручному режимі із пульта керування роботою дослідно–експериментальної установки.

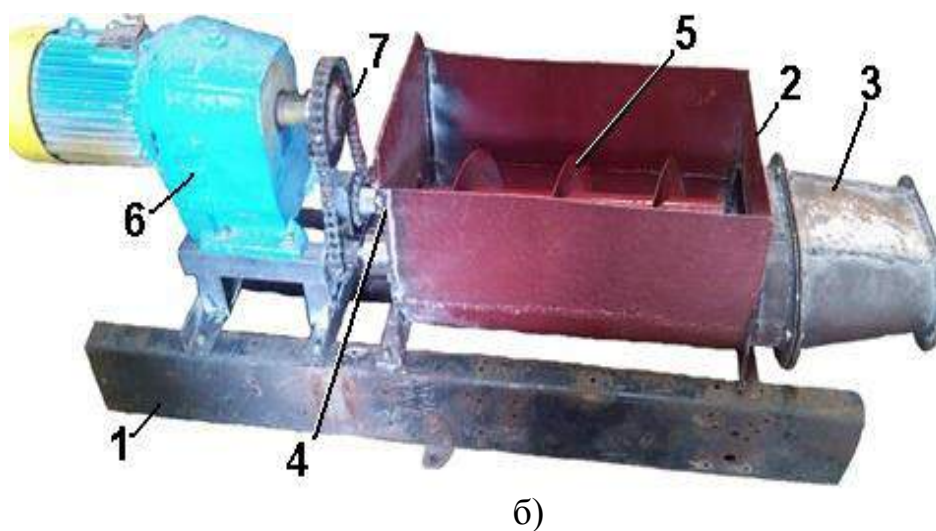
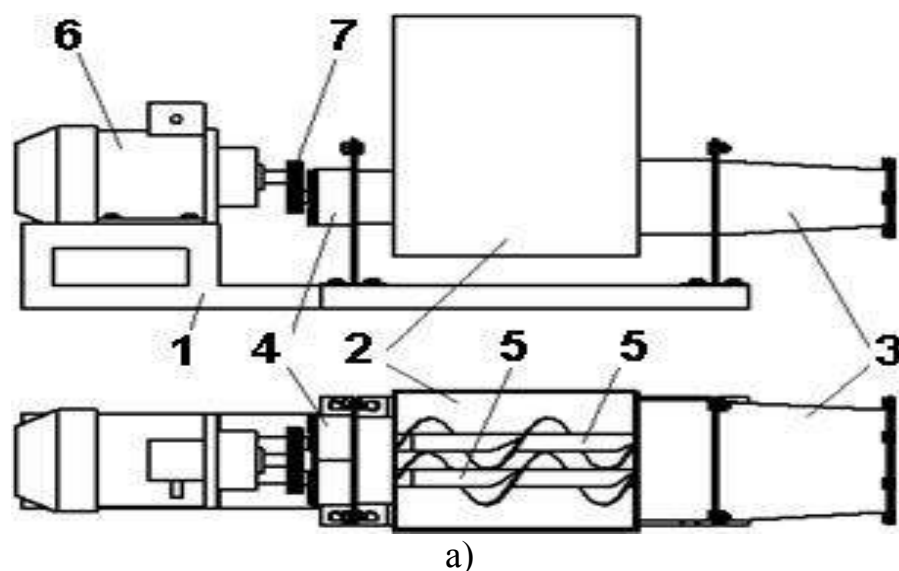


Рис. 4.6 – Двогвинтовий ущільнювач рослинної сировини: а – конструктивно–технологічна схема; б – загальний вигляд; 1 - рама; 2 - бункер; 3 - дифузора; 4 - підшипниковий вузол; 5 - гвинт; 6 - електроприводний мотор–редуктор; 7 - ланцюгова передача

Така конструкція дозволяє підвищити щільність, та уникнути процесу релаксації рослинної сировини при зберіганні, а також дає можливість додатково вносити консервант на вході рослинної сировини в двогвинтовий ущільнювач. Конструкція сховища та засіб його заповнення дозволить зменшити доступ повітря безпосередньо у сховище.

Робота двогвинтового ущільнювача рослинної сировини відбувається за такою схемою: маса від преса попереднього ущільнення (рис. 4.4) подається по всій довжині бункера 2, одночасно у відповідній пропорції сюди від до-

затора внесення пиловидного консерванту (рис. 4.5) додається консервант. Загальна маса рослинної сировини та консерванту захоплюється витками гвинтів 5 та транспортується до дифузора 3. Так як дифузор 3 має конусоподібну форму, маса, яка переміщується вздовж нього постійно ущільнюється.

Показники роботи двогвинтового ущільнювача у даному випадку залежать від частоти обертання гвинтів, співвідношення висоти шару корму, який поступає в ущільнювач, до діаметра його гвинтів та щільності маси на вході.

До вихідного кінця дифузора приєднується горловина плівкового сховища, через яку воно заповнюється рослинною сировиною, підготовленою для консервування.

4.2.2 Методика проведення експериментальних досліджень

4.2.2.1 Планування досліджень пресу попереднього ущільнення

Визначення залежності кількісних, якісних та енергетичних показників роботи пресу попереднього ущільнення рослинної сировини від режимів роботи та конструкційних параметрів проводилися з використанням методу математичної теорії планування експерименту, яка дозволяє зменшити кількість дослідів. Основним завданням планування експерименту в даному випадку є отримання статистичної математичної моделі залежності експлуатаційних і якісних показників роботи об'єкту дослідження, як правило, від конструкційних параметрів, технологічних режимів роботи та властивостей оброблюваного матеріалу у вигляді рівняння регресії.

Так як пошук екстремального значення функцій декількох змінних, для яких відсутнє аналітичне вираження, методами, що базуються на послідовному варіюванні однієї змінної при фіксованих значеннях усіх інших, вимагає виконання великого обсягу дослідів [243], доцільним є використання методів планування експериментів.

Це скорочує обсяг досліджень, зменшує число дослідів, дозволяє одержати кількісну оцінку впливу факторів; дає можливість мати необхідну математичну модель явища; визначити оптимальні умови його виконання тощо

[244]. Поєднання цього із застосуванням електронної обчислювальної техніки дає змогу швидко обробляти результати й у ряді випадків вносити корективи в дослідження безпосередньо в процесі проведення експерименту.

Найбільш економічним є варіювання факторів на трьох рівнях, що дозволяє мати залежність у вигляді полінома другого порядку [245]. Необхідна кількість дослідів дорівнювала трьом, що забезпечує надійності досліду 95 % [243].

Для встановлення основних факторів та їх меж було проведено попереднє вивчення об'єкту досліджень, в результаті чого встановлено що факторами, які впливають на кількісні, якісні і енергетичні показники роботи пресу попереднього ущільнення рослинної сировини є кут нахилу формуючої поверхні камери пресування, швидкість руху поршня пресу та вологість вихідної сировини. Але вологість рослинної сировини не має змоги вдається варіювати необхідним чином. Хоч саме вологість і впливає на численні фізико–механічні властивості, проте, у даному разі для сінажу цей показник лежить у досить вузьких межах — 45–55 %.

Таким чином за існуючою класифікацією для проведення досліджень на трьох рівнях маємо вузький інтервал варіювання (лише 10 % від середнього при рекомендованому не менше 15 %), що з урахуванням похибок вимірювання викликає сумніви у статистичній достовірності отримуваних результатів [246].

Тому нами було прийнято рішення провести активний двофакторний експеримент але на двох культурах: на воросі зернових і на сінажі з межами варіювання куту нахилу формуючої поверхні камери пресування від 8° до 15° (інтервал варіювання 3.5° , тобто 30.4 %, що відповідає широкому інтервалу) і швидкість руху поршня пресу від 1.35 до 1.67 мм/с (інтервал варіювання 0.26 мм/с, тобто 16.1 %, тобто з середнім інтервалом).

Для проведення оптимізації конструкційно–режимних параметрів роботи пресу попереднього ущільнення рослинної сировини використовувалася трирівнева матриця повнофакторного плану другого порядку для двох факторів, представлена в табл. Б1 додатку Б.

4.2.2.2 Планування досліджень дозатору консервантів і двогвинтового ущільнювача

Також з використанням методу математичної теорії планування експерименту визначалися залежності кількісних, якісних та енергетичних показників роботи дозатора консервантів і двогвинтового ущільнювача від досліджуваних факторів. При цьому їхні рівняння регресії залежали від трьох факторів.

При дослідженнях роботи барабанного дозатора консервантів вивчалася залежність його показників роботи від конструктивного показника — діаметра отворів решета дозуючого барабана, частоти його обертання (технологічний параметр) і характеристики консерванту — середнього розміру його часток. Межі варіювання цих факторів становили: частота обертання дозуючого барабану від 16 до 83 об/хв., діаметр отворів його решета від 3.5 до 5.5 мм і розмір часток консерванту від 0.01 до 0.4 мм [247].

Таким чином для трирівневого варіювання при активному експерименті інтервал для частоти обертання становив 33.5 об/хв., тобто 67.7 % від середнього значення, для діаметра отворів його решета — 1 мм, тобто 22.2 % середнього і для розміру часток консерванту 0.195 мм, що відповідає 95.1 % середнього значення показника. Звідси для частоти обертання дозуючого барабану і розміру часток консерванту наявний широкий, а для діаметра отворів решета барабані — середній інтервал варіювання, що має забезпечити статистичну достовірність результатів досліджень.

Дослідження роботи двогвинтового ущільнювача рослинної сировини також виконувалося у залежності від конструктивного показника, режиму технологічного процесу і властивості матеріалу, тобто від відношення висоти вхідного отвору до діаметра гвинта, роботи частоти обертання гвинтів та початкової щільності маси [248].

При цьому проводиться активно-пасивний експеримент, у якому поєднуються активне варіювання одних факторів з лише реєструванням значення

параметрів інших, тобто частота обертання гвинтів і відношення висоти вхідного отвору до діаметра гвинта приймаються у відповідності з тритівневою матрицею трифакторного активного експерименту, а початкова щільність маси береться відповідно щільності, одержаної при попередньому ущільненні. Таким чином межі варіювання відношення висоти вхідного отвору до діаметра гвинта були від 1.27 до 1.95, відповідно інтервал варіювання становив 1.6, тобто 20.6 %, для частоти обертання гвинтів межі варіювання були від 21 до 125 об/хв., тобто інтервал варіювання складав 72 об/хв., що відповідало 71.2 % — у обох випадках інтервал варіювання є широким.

Початкова ж щільність маси для сінажу змінюється у межах від 150 до 555 кг/м³, для вороху — від 131 до 444 кг/м³.

Для проведення оптимізації конструкційно–режимних параметрів роботи дозатора консервантів і двогвинтового ущільнювача застосовується тритівнева матриця повнофакторного плану другого порядку для трьох факторів, представлена в табл. Б2 додатку Б.

4.2.3 Статистична обробка отриманих даних і аналіз математичної моделі процесу

4.2.3.1 Статистична обробка і оцінювання результатів досліджень

Отримані результати з метою одержання інформації про вплив факторів, отримання функцій відгуку — рівняння регресії $\hat{y} = f(x)$, яке є експериментально–статистичною математичною моделлю досліджуваного явища і оптимізації конструктивних параметрів та режимів роботи обробляється методом регресійного аналізу.

Він є одним з методів математичного статистичного моделювання і дає змогу отримати математичну модель досліджуваного явища у вигляді рівняння регресії, яке пов'язує цільову функцію відгуку, що установлює взаємозв'язок між випадковою факторіальною величиною y (*параметром оптимізації*) і величиною x (*фактором впливу*), яка є змінною, але не випадковою [243]. Тобто його метою є пошук таких комбінацій незалежних ознак ре-

гресійної експериментально–статистичної моделі, які з найбільшою статистичною достовірністю прогнозують значення залежної ознаки ” (у певному статистичному сенсі з більш високим значенням коефіцієнта детермінації R^2 , меншим значенням дисперсії похибок і т. ін.) [249].

Умовами застосування методу регресійного аналізу є:

— між кожною з незалежних ознак x і залежною y повинні бути причинно–наслідкові залежності;

— число об’єктів дослідження має бути у кілька разів більше числа прогностичних (пояснюючих) ознак, тобто обсяг вибірки повинен в 3–5 разів перевищувати кількість факторів.

— усі аналізовані ознаки, як незалежні, так і залежна, повинні бути кількісними;

— залежна ознака y повинна мати нормальний розподіл. Однак це не жорстка вимога, головне, щоб її закон розподілу не надто відрізнявся від нормального [250];

— повторення залежних ознак повинні мати нормальний розподіл з рівними дисперсіями;

— взаємозв’язки між кожною з незалежних ознак x і залежною y в інтервалі досліджуваних значень описується функцією одного показника;

— кожне значення y незалежне від іншого для кожного значення x_i ;

— необхідна відсутність взаємної кореляції незалежних ознак. Якщо будь–які з незалежних ознак сильно або середньо корельовані між собою, то необхідно залишити для регресійного аналізу ті з них, які мають більш сильну кореляцію із залежною ознакою [251].

Виконання ряду цих вимог забезпечуються проведенням активного експерименту, зокрема використанням планування [249], інших, зокрема, оцінка отриманої функції відгуку, аналізом програмами статистичної обробки, зокрема, пакетом прикладних програм Statistica [252, 253], виконання деяких з них повинно перевірятися перед статистичною обробкою даних самим експериментатором [251].

Перевірку вибірки на нормальність розподілу виконують лише для даних пасивного чи активно–пасивного експерименту із застосуванням згідно міжнародного стандарту ISO 3479–97 [254] критерієм Шапіро–Уїлка. Її краще здійснювати побудовою гістограм пакетом прикладних програм Statistica [255, 256].

У разі наявності нормального статистичного розподілу для подальших оцінок вибірки можуть бути застосовані параметричні критерії — Фішера, Стьюдента, Кохрена та інші.

Для оцінки сумнівних і виключення помилкових значень (промахів), якими є максимальне чи мінімальне значення повторів, найбільш уживаними є критерій Стьюдента [233], емпіричне значення якого розраховується за формулою

$$t = \frac{\bar{x} - x_{\min, \max}}{s}, \quad (4.6)$$

де \bar{x} , x_{\min} , x_{\max} – відповідно середнє арифметичне мінімальне і максимальне значення вибірки;
 s – вибірковий середній квадратичний відхил.

Ці розрахунки краще виконувати в MS Excel, який має вбудовані функції розподілу Стьюдента і всіх наведених у формулі (4.6) показників.

Дані, для яких виконується умова $t \geq t_{\alpha(v)_T}$, де $t_{\alpha(v)_T}$ – критичне (табличне) значення t –критерію Стьюдента, знайдене для прийнятого рівні значущості α і ступенях вільності $v=n-1$; n – обсяг вибірки.

Перевірка належності вибіркових повторень до однієї генеральної сукупності здійснюється оцінкою статистичної значущості різниці між парами середніх арифметичних вибірок за точковою оцінкою з використанням t – Стьюдента чи за інтервальною оцінкою порівняння їхніх довірчих інтервалів. Більш доцільно використовувати останній спосіб, здійснюючи побудову блокових діаграм з графічним наведенням середнього, його похибки і довірчого інтервалу для середнього арифметичного, яке виконується у ППП Statistica [255].

Для перевірки гіпотези про однорідність (належність до однієї генеральної сукупності) дисперсій вибірок слід використовувати критерій Кохрена G (G -критерій), який використовується при активному експерименті з однаковою повторністю (більше двох) числа дослідів, які підпорядковуються нормальному розподілу і залежить від числа дослідів n та кількості варіантів дослідів k (числа дисперсій) [255]. Таким чином матриця даних, отримана згідно матриці планування, складається із k повторень дослідів, представленими колонками і n рядів (повторів).

Перевірка однорідності дисперсій виконується обчисленням частки від ділення максимальної дисперсії s_{max}^2 на суму всіх дисперсій $\sum_i^n s_i^2$

$$G_{(k,v)} = \frac{s_{max}^2}{\sum_i s_i^2}. \quad (4.7)$$

Емпіричне значення $G_{\alpha(k,v)}$ порівнюється із критичним (табличним) значенням $G_{\alpha(k,v)_T}$ яке прийнятого рівня значущості α і ступеня вільності $v = n - 1$. За умови $G_{(k,v)} < G_{\alpha(k,v)_T}$ всі вибіркові дисперсії є оцінками однієї генеральної сукупності, тобто однорідні.

Хоч значень функції розподілу Кохрена немає ні в MS Excel, ні пакеті прикладних програм Statistica, проте їх можна апроксимувати F -розподілом Фішера [252].

$$G_{(k,v)_T} = \frac{F_{\alpha/k,v,(k-1)v}}{F_{\alpha/k,v,(k-1)v} + k - 1}, \quad (4.8)$$

де $F_{\alpha/k,v,(k-1)v}$ - критерій Фішера для рівня значущості α/k і ступенів вільності v і $(k-1)v$.

Якщо $G_{(k,v)} \geq G_{\alpha(k,v)_T}$, тобто перевірка на відтворюваність дала негативний результат, то слід визначити відтворюваність або невідтворюваність експерименту щодо керованих змінних внаслідок наявності флуктуацій некерованих і неконтрольованих змінних, що створюють на виході великий рівень “шуму”, або наявність грубого промаху в рядку, звідки взята сумнівна диспе-

рсія. У першому випадку слід підвищити точність вимірів, або встановити менші інтервали варіації факторів та підвищити повторність у дослідах, у другому — знайти грубий промах і замінити його результатом доброякісного виміру при відповідній комбінації чинників. Якщо це з певних причин неможливо, то, щоб не порушувати передумови використання критерію, на місце грубого промаху слід помістити середнє арифметичне \bar{y}_j даного рядка.

Визначення коефіцієнту r лінійної кореляції Пірсона у разі отримання лінійних регресійних рівнянь краще виконувати за допомогою ППП Statistica, який видає більш інформативні результати порівняно з програмою Excel. Але ми аналізуємо вихідні дані рівняння функції відгуку другого порядку, тому необхідно отримати кореляційне відношення η , яке характеризує криволінійну кореляцію, тобто тісноту зв'язку результуючою ознаки з фактором і змінюється від 0 до 1 [255, 256].

Найбільш просто це зробити виконавши дисперсійний аналіз вихідних даних. Далі використовуючи його результати за формулами (4.9) визначається індекс детермінації фактора η^2 , а потім кореляційне відношення η [257].

$$\eta_{\phi.n}^2 = \frac{SS_{\phi.n}}{SS_p} \quad i \quad \eta_{\phi.n} = \sqrt{\frac{SS_{\phi.n}}{SS_p}}, \quad (4.9)$$

де $SS_{\phi.n}$ – сума квадратів відповідного фактора чи їх поєднання;

SS_p – загальна сума квадратів.

Дисперсійний аналіз вихідних даних, особливо для три факторного експерименту, краще виконувати за допомогою ППП Statistica

Розраховувати рівняння регресії найкраще також за допомогою ППП Statistica. При цьому слід звернути увагу на відмінність в результатах оцінки отриманих рівнянь регресії, розрахованими за середніми значеннями і за повтореннями, яке призводить до зростання дисперсії похибки досліду, Це зростання пояснюється тим, що сума квадратів відхилень даних від середнього зростає у квадратичній залежності, а їхня кількість лінійно.

Зростання дисперсії похибки викликає зменшення емпіричного критерію Фішера і відповідно рівню адекватності математичної моделі [258, 259].

Отримана функція відгуку повинна бути перевірена на відповідність експериментальним даним, зокрема на:

- значущість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стьюдента;
- адекватність математичної моделі за критерієм Фішера;
- працездатність отриманої функції за коефіцієнтом детермінації на основі визначення коефіцієнту лінійної кореляції Пірсона;
- відповідність нулю різниці (залишків) між фактичним і прогнозованим значенням залежної змінної;
- відповідність залишків нормальному розподілу [238].

Всі перелічені операції можуть бути виконані ППП Statistica але без урахування умов значущості коефіцієнтів рівняння регресії [258, 259]. Слід відмітити, що в результуючих таблицях ППП Statistica червоним кольором подаються цифри результатів з істотно статистичними відмінностями порівнюваних вибірок із рівнем значущості менше заданої нами.

Таким чином оцінка адекватності математичної моделі за критерієм Фішера, виконувана із застосуванням ППП Statistica і інші показники стосуються моделі з усіма знайденими коефіцієнтами рівняння регресії, тобто і для статистично неістотних за t -критерієм Стьюдента. Тому для оцінки адекватності математичної моделі при виключенні з неї статистично незначущих коефіцієнтів слід розрахувати значення рівняння регресії відповідно матриці планування експерименту і порівняти їх за критерієм Фішера з відповідними експериментальними значеннями. Рівняння вважається адекватним якщо емпіричний критерій Фішера більше за табличний, тобто $F > F_T$.

Також для оцінки працездатності рівняння слід визначити коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона і відповідно показник детермінації, який повинен бути більше за 0,75 [243], як квадрат цього значення.

Обидва ці розрахунки можна виконувати як із застосуванням MS Excel, так і ППП Statistica.

4.2.3.2 Особливості статистичної оцінки якісних показників роботи дозаторів і змішувачів

Дозатори і змішувачі широко використовуються стаціонарних лініях і мобільних машинах для приготування і роздачі кормів.

Для оцінки якості їх роботи визначають:

- межі видачі матеріалу, тобто продуктивності процесу дозування чи змішування;
- точність дозування чи змішування;
- нерівномірність видачі [241].

Якщо із визначенням першого показника, який визначає кількісну характеристику роботи устаткування, практично проблем немає, то при оцінці двох останніх, які характеризують якісні показники, виникає ряд питань [260, 261].

Практично у всіх як нормативних документах, так і результатах досліджень наводиться лише визначення коефіцієнту варіації і то для одного повторення без статистичної оцінки і аналізу результатів [262-265]. Досить часто дослідники навіть застосовують свої власні показники [266, 267].

Відомо, що оцінювання якісних показників роботи дозаторів і змішувачів ґрунтуються на коефіцієнті варіації, його результати залежать від кількості взяття проб при одному повторенні. За нормативними матеріалами для змішувачів воно становить 30 проб, для дозаторів —15–20 [241]. Виходячи з цього машини з однаковим якісним рівнем роботи будуть мати різні оціночні показники.

Очевидно кількість проб як при оцінюванні дозаторів, так і змішувачів повинна бути 30, що саме з цього числа у статистиці вибірка перестає бути малою і набуває ознак великої, що дає змогу використовувати для оцінок характеристики нормального розподілу вибірки [260].

Крім того в [241] лише говориться, що кількість повторень серій замірів повинна дорівнювати трьом і нічого не сказано яким показником вони

об'єднуються при представлення, адже середнє арифметичне у цьому разі неприйнятне, так як коефіцієнт варіації має статистичний характер, а не результатом безпосереднього прямого вимірювання.

Також нічого не сказано взаємну оцінку коефіцієнтів варіації повторення з метою виявлення сумнівних і виключення помилкових значень (промахів). При порівнянні емпіричного значення якісного показника з відповідними зоотехнічними вимогами не наведено за яким принципом виконується дана перевірка.

Нічого не згадано також і про виключення впливу дозаторів на якісні показники роботи змішувачів.

Виходячи з того, саме вищезгадані елементи необхідні для об'єктивної оцінки досліджуваного устаткування, нами пропонується методика оцінювання результатів експериментальних досліджень якісних показників роботи дозаторів безперервної дії, розроблена на основі теорії статистичної обробки експериментальних даних і теорії помилок.

Як відомо, нормально розподілена вибірка характеризується середнім арифметичним \bar{x} , вибірковою дисперсією s^2 і вибіркоvim середнім квадратичним відхилом s .

Міри центральної тенденції (локалізації, положення) та розсіювання вибірки, представлені середньоарифметичним показником \bar{x} , дисперсією s^2 і середньоквадратичним відхилом s , і виходячи з обсягу вибірки, розраховуються за умови $n < 30$ відповідно за виразами

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.10)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{і} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

При $n \geq 30$ розрахунки здійснюються за виразами, наведеними без поправки Бесселя $\frac{n}{n-1}$, тобто як для генеральної сукупності [268, 269, 270]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j; s^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{x} - x_j)^2}{n}; s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{x} - x_j)^2}{n}}, \quad (4.11)$$

де x_i – значення i -ї проби при обсязі n .

Середньоквадратичний відхил вибірових середніх $s_{\bar{x}}$, який є мірою випадкової похибки окремого вимірювання знаходиться з виразу

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (4.12)$$

На основі цього визначаються межі довірчого інтервалу генеральної сукупності

$$\bar{x} - t_{\alpha(v)_T} s_{\bar{x}} \leq x \leq \bar{x} + t_{\alpha(v)_T} s_{\bar{x}}. \quad (4.13)$$

Коефіцієнт варіації V , який додатково використовується для характеристики розкиду даних, і є оцінкою однорідності чи неоднорідності сукупності, наводиться у відсотках і є відносним показником мінливості [268]. Саме за ним, як було сказано вище, оцінюється нерівномірність роботи дозаторів і змішувачів

$$V = 100 \cdot \frac{s}{\bar{x}}. \quad (4.14)$$

Для сільського господарства прийнята градація величини коефіцієнта варіації: мінливість вважають незначною при його величині менше 10 %, невеликою при 10–20 %, середньою при варіюванні у межах 20–40 %, великою — від 40 до 60 % і дуже великою при перевищенні 60 % [257].

Для визначення похибки коефіцієнту варіації рядом авторів пропонується декілька відмінних одна від однієї формул [257, 269–263].

На наш погляд за умови $n < 30$ для визначення похибки коефіцієнту варіації слід використовувати формулу (4.15) [269]

$$s_v = \frac{V}{\sqrt{2(n-1)}} \sqrt{1 + 2 \left(\frac{V}{100} \right)^2}, \quad (4.15)$$

а при $n \geq 30$ — формулу (4.16) [263]

$$s_v = \frac{V}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + 2\left(\frac{V}{100}\right)^2}. \quad (4.16)$$

Межі довірчого інтервалу коефіцієнту варіації представлені виразом [268]

$$\frac{V}{1 + t_{\alpha(v)_T} \cdot s_V} \leq V \leq \frac{V}{1 - t_{\alpha(v)_T} \cdot s_V}. \quad (4.17)$$

Визначення меж довірчого інтервалу коефіцієнту варіації для генеральної вибірки представлено формулою [271]

$$\frac{V}{1 + z_\alpha \cdot s_V} \leq V \leq \frac{V}{1 - z_\alpha \cdot s_V}, \quad (4.18)$$

де z_α – двобічний критерій квантиля нормального розподілу для рівня значущості α .

Як бачимо з виразів (4.17) і (4.18) межі довірчого інтервалу коефіцієнту варіації для генеральної вибірки несиметричні відносно емпіричного значення коефіцієнта варіації.

Саме вирази (4.17) і (4.18) слід використовувати для інтервальної оцінки при статистичному порівнянні значень коефіцієнту варіації повторень.

При застосуванні точкової оцінки за t -критерієм Стьюдента виконується оцінка статистичної значущості різниці d_V між двома коефіцієнтами варіації V_1 і V_2 вибірок обсягом відповідно n_1 і n_2

$$t = \frac{|V_2 - V_1|}{\sqrt{s_{V_1}^2 + s_{V_2}^2}}, \quad (4.19)$$

де $s_{V_1}^2$, $s_{V_2}^2$ – дисперсії коефіцієнтів варіації першої й другої вибірок, розраховані за виразом (4.15) чи (4.16).

Нульова гіпотеза про рівність коефіцієнтів варіації вибірок відкидається за умови $t \geq t_{\alpha(v)_T}$, де $v = n_1 + n_2 - 2$. Також рекомендують її відхиляти при $t \geq 3$ [272].

З виразу (4.18) маємо дві відмінні між собою похибки середнього —

зліва $\Delta_{(x_l)}$, для визначення мінімальної та справа $\Delta_{(x_n)}$, для максимальної величини, наведені у виразі (4.20)

$$\Delta_{(x_l)} = V \cdot \frac{z_\alpha \cdot s_V}{1 + z_\alpha \cdot s_V} \quad \text{і} \quad \Delta_{(x_n)} = V \cdot \frac{z_\alpha \cdot s_V}{1 - z_\alpha \cdot s_V}. \quad (4.20)$$

При необхідності об'єднати результати k повторень прямих вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини x представлених у вигляді $\bar{x}_1 \pm \Delta_{(x_1)}$, $\bar{x}_2 \pm \Delta_{(x_2)}$... $\bar{x}_k \pm \Delta_{(x_k)}$ (з однаковими правою і лівою похибками) результуюче значення і похибка визначається залежностями [273]

$$x_{об} = \frac{\sum_{j=1}^k q_j x_j}{\sum_{j=1}^k q_j}, \quad \Delta_{(x_{об})} = \frac{1}{\sum_{j=1}^k q_j}, \quad (4.21)$$

де q_j – статистична вага кожної серії вимірювань, $q_j = 1 / \Delta_{(x_j)}^2$;

k – повторність замірів.

Таким чином слід по чергово розрахувати $\Delta_{(x_{зм})}$ для правої і лівої похибок, а кінцеве значення $x_{зм}$ прийняти як середнє відповідних розрахунків.

Статистична обробка результатів якісної оцінки змішувачів має ряд особливостей. Технології післязбиральної обробки та зберігання кормових компонентів в сільськогосподарських підприємствах прогноуються на забезпечення повного прямоточного збирання, післязбиральної обробки, тривалого зберігання та приготування, яке не можливо без операцій дозування та змішування [274]. Отже змішувачі кормів, які часто виконуються у поєднанні з подрібнювачами, входять практично у всі лінії кормоприготування ферм великої рогатої худоби [275]. Найчастіше вони виконують змішування компонентів силос–солома.

Показником оцінки якісних показників змішування є сталість заданого рецептурного відношення λ компонентів — маси соломи m до маси силосу M , тобто пропорції солома–силос, поданої виразом

$$\lambda = \frac{m}{M}. \quad (4.22)$$

Якість процесу змішування оцінюється коефіцієнтом варіації, причому при змішуванні компонентів силос–солома, для оцінки використовуються відповідні величини вологості компонентів і результуюча вологість суміші [262, 277]. Відповідно до [241] дослідження проводяться за триразовою повторністю ($k=3$) відбором 30 проб ($n=30$).

Коефіцієнт варіації V рівномірності змішування розраховується як відсоткове відношення середньоквадратичного відхилення s до $\bar{\lambda}$ – середньоарифметичного показника рецептурного відношення, тобто

$$V = 100 \cdot \frac{s}{\bar{\lambda}}. \quad (4.23)$$

Похибка коефіцієнту варіації для великих обсягів вибірок, тобто при $n \geq 30$ вибірок визначається за виразом (4.16).

Отримані дані при дослідженні якості роботи потокових змішувачів містять в собі похибки систематичного характеру, перш за все викликані похибками їх дозування. Це не дає змогу об'єктивно оцінювати змішувач, так як одна і та ж машина у різних технологічних лініях навіть з однаковими, але по іншому відрегульованими дозаторами, буде характеризуватися різними показниками. Це в свою чергу призведе до спотворення отриманих результатів [277, 278].

Тому для виключення із показників якісної оцінки потокових змішувачів стеблових кормів похибок систематичного характеру, викликаних коливанням нерівномірності дозування при подачі їх у змішувач розглянемо залежність абсолютної систематичної похибки показника рецептурного відношення λ від похибок дозування при подачі рослинної маси і консерванту в змішувач.

Міри центральної тенденції (локалізації, положення) та розсіювання вибірки, представлені середньоарифметичним показником рецептурного від-

ношення $\bar{\lambda}$, дисперсією s^2 і середньоквадратичним відхилом s , і виходячи з обсягу вибірки, розраховуються відповідно за виразами (4.10) і (4.11).

Процес дозованої подачі рослинної маси і консерванту в змішувач су-проводжується їх відносними систематичними похибками $\delta\lambda_{др}$ і $\delta\lambda_{дк}$. В абсолютному вигляді вони відповідно становлять $\Delta M = \delta\lambda_{др} \cdot M$ і $\Delta m = \delta\lambda_{дк} \cdot m$.

Загалом абсолютна систематична похибка $\Delta\lambda_d$ рецептурного складу λ суміші від дозування визначається як похибка дробу (4.22) і описується виразом [279, 280]

$$\Delta\lambda_d = \sqrt{\frac{(\Delta m)^2}{M^2} + \frac{m^2(\Delta M)^2}{M^4}} = \lambda \sqrt{(\delta\lambda_{дк})^2 + (\delta\lambda_{др})^2}. \quad (4.24)$$

Систематична похибка коефіцієнту варіації розраховується виходячи з формул (4.10), (4.11) та (4.23).

За врахування систематичної похибки показника рецептурного складу суміші характеристику відношення компонентів i -ої проби j -го повторення $\tilde{\lambda}_{ij}$ представимо у вигляді

$$\tilde{\lambda}_{ij} = \lambda_{ij} \pm \Delta\lambda_{сис}, \quad (4.25)$$

де λ_{ij} – значення заміру показника рецептурного компонентів i -ої проби j -го повторення.

Величина рецептурного відношення результату повторення становить

$$\tilde{\lambda}_j = \bar{\lambda}_j \pm \frac{\Delta\lambda_{сис}}{\sqrt{n}}, \quad (4.26)$$

де $\bar{\lambda}_j$ – середньоарифметичне значення j -го повторення проб

$$\bar{\lambda}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_{ij}.$$

У виразі (4.26) другий член многочлена представляє собою систематичну абсолютну похибку результату j -го повторення (середнього проб повторення)

$$\Delta\lambda_j = \frac{\Delta\lambda_{cuc}}{\sqrt{n}}, \quad (4.27)$$

Середній квадратичний відхил, розраховується виразами (4.10) і (4.11). Для цього визначаються квадрати величин заміру рецептурного відношення компонентів для проб $\tilde{\lambda}_j$ і результату повторення $\bar{\lambda}_j$ представлених у (4.25) і (4.26) для j -го повторення, як це подано у (4.28)

$$\tilde{\lambda}_{ij}^2 = \lambda_{ij}^2 \pm 2\lambda_{ij}\Delta\lambda_{cuc} \quad \text{і} \quad \tilde{\lambda}_j^2 = \bar{\lambda}_j^2 \pm 2 \cdot \Delta\lambda_{cuc} \frac{\bar{\lambda}_j}{\sqrt{n}}. \quad (4.28)$$

Різниця квадратів виразів, які представлені у (4.28) має вигляд

$$\tilde{\lambda}_j^2 - \tilde{\lambda}_{ij}^2 = \left(\bar{\lambda}_j^2 - \lambda_{ij}^2\right) + 2 \cdot \Delta\lambda_{cuc} \left(\frac{\bar{\lambda}_j}{\sqrt{n}} + \lambda_{ij}\right). \quad (4.29)$$

Розділивши обидві частини рівняння (4.29) на n отримуємо

$$\tilde{s}_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_j^2 - \lambda_{ij}^2)}{n} + \frac{2 \cdot \Delta\lambda_{cuc}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_j}{\sqrt{n}} + \lambda_{ij}\right). \quad (4.30)$$

Розглядаючи многочлен правої сторони виразу (4.30), бачимо, що перша його частина представляє собою дисперсію вимірюваних значень (4.10) і (4.11) j -го повторення, а друга абсолютну систематичну похибку цієї дисперсії, тобто

$$\tilde{s}_j^2 = s_j^2 + \Delta s. \quad (4.31)$$

Абсолютна систематична похибка Δs_j^2 дисперсії s_j^2 j -го повторення становить

$$\Delta s_j^2 = \frac{2 \cdot \Delta\lambda_{cuc}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_j}{\sqrt{n}} + \lambda_{ij}\right). \quad (4.32)$$

З виразу (4.31) стандартний відхил j -го повторення s_j , який є позитивним значенням кореня квадратного з дисперсії s_j^2 , визначається залежністю

$$\tilde{s}_j = s_j \pm \frac{\Delta s_j^2}{n \cdot s_j}. \quad (4.33)$$

Тут другий член многочлена правої сторони представляє абсолютну систематичну похибку j -го повторення Δs_j стандартного відхилу s_j , тобто

$$\Delta s_{j_{cuc}} = \frac{\Delta s_j^2}{n \cdot s_j}. \quad (4.34)$$

Коефіцієнт варіації j -го повторення, який є відсотковим відношенням частки від ділення виразів, поданих у формулах (4.33) і (4.26) [275]

$$\tilde{V}_j = V_j \pm \frac{1}{\lambda_j} \sqrt{\left(\frac{\Delta s_j^2}{n \cdot s_j}\right)^2 + \left(\frac{V_j}{100}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta \lambda_{cuc}}{\sqrt{n}}\right)^2}, \quad (4.35)$$

де V_j – коефіцієнту варіації замірів j -го повторення, розрахований за формулою (4.23).

Таким чином абсолютна систематична похибка коефіцієнту варіації j -го повторення становить

$$\Delta V_{cuc_j} = \frac{1}{\lambda_j} \sqrt{\left(\frac{\Delta s_j^2}{n \cdot s_j}\right)^2 + \left(\frac{V_j}{100}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta \lambda_{cuc}}{\sqrt{n}}\right)^2}. \quad (4.36)$$

Абсолютна похибка коефіцієнту варіації j -го повторення самого змішувача (з виключенням впливу систематичних похибок) розраховується за формулою

$$\Delta V_{zm_j} = \sqrt{\left[\frac{V_j^2}{2(n-1)}\right] \cdot \left[1 + 2\left(\frac{V_j^2}{100}\right)^2\right] - \frac{1}{\lambda_j^2} \left[\left(\frac{\Delta s_j^2}{n \cdot s_j}\right)^2 + \left(\frac{V_j^2 \Delta \lambda_{cuc}}{10^4 \sqrt{n}}\right)^2\right]} \quad (4.37)$$

Подальше об'єднання результатів k серій виконується за виразом (4.21). Для порівняння коефіцієнтів варіації двох дозаторів чи змішувачів може використовуватися інтервальна оцінка за виразами (4.17) і (4.18) чи то-

чкова за формулою (4.19). При цьому коефіцієнти варіації вибірок повинні бути розраховані за виразом (4.21).

Порівнянні емпіричного значення коефіцієнту варіації V з відповідними зоотехнічними вимогами V_0 оцінюється відхиленням середнього від безпомилкового числа.

При інтервальному оцінюванні використанні статистична рівність емпіричного значення коефіцієнту варіації регламентному буде якщо регламентне значення знаходиться у межах довірчого інтервалу, знайденого за виразами (4.17) і (4.18).

При оцінці перевіркою гіпотези (точкове оцінювання) слід застосувати t -критерій Стьюдента. При цьому як завжди перевіряється нульова гіпотеза про відсутність відмінностей

$$t = \frac{|V_0 - V|}{s_V}. \quad (4.38)$$

Оцінка проводиться зіставленням обчисленого значення t із табличним $t_{\alpha(v)_T}$ $v = n_1 + n_2 - 2$ [269]. За умови $t \geq t_{\alpha(v)_T}$ нульова гіпотеза відхиляється. Також рекомендують її відхиляти при $t \geq 3$ [272].

Таким чином наведені уточнення і доповнення до загальноприйнятих і стандартизованих методик оцінки якісних показників роботи дозаторів і змішувачів стеблових кормів дають змогу їх об'єктивно оцінювати не залежно від умов їх роботи. Оцінка виконується з використанням вимог стандартизованої методики, зокрема, кількості взяття проб та оцінки змішування компонентів силос–солома, за вихідною величиною їх вологості і результуючою вологістю суміші.

4.2.3.3 Методика визначення якісних показників барабанного дозатору сипкого консерванту

Приймаючи до уваги велике різноманіття розсипних консервантів, що використовують у тваринництві, при проведенні експериментальних дослі-

джені у якості об'єкту досліді використовувалась соль кам'яна, соль екстра, та стартова суміш для шпатлювання. Вологість усіх консервантів у всіх випадках згідно ГОСТ 18691-73 знаходилась у межах 8-14%.

Послідовність при проведенні експериментальних досліджень була наступною:

- встановлюють завданий режим роботи та дослідні параметри дозатору;
- заповнюють консервантом надбарабанний простір;
- вмикається установка та при встановленому режимі роботи дозатору приводили в дію накопичувач дослідної маси;
- після відбору проб проводили їх зважування із точністю до 0,02 г, а результати зважування заносили в журнал;
- після трикратного повторення досліді змінювали режим роботи та досліджувані параметри дозатору.

Продуктивність дозатору визначали у відповідності із вимогами ОСТ 70.19.2–83 [241]. Проби відбиралися на протязі 30 с із максимально можливою постійністю інтервалу часу в трикратній повторюваності. Кожна проба зважувалась на вагах ВЛКТ–500г–М, та розраховувалось її середнє значення, а продуктивність визначалась по формулі

$$Q = \frac{\bar{m}}{1000 \cdot t \cdot \rho}, \quad (4.39)$$

де \bar{m} – середня маса проби, г;

t – час відбору проби, с;

ρ – щільність сипкого матеріалу, кг/м³.

При роботі барабанного дозатору важливим показником є середня щільність розрідженого потоку в приймальній камері. Після визначення продуктивності дозатору цей показник можливо розрахувати. Щільність розрідженого потоку сипкого матеріалу залежить від продуктивності дозатору, активної площі решета та висоти приймальної камери

$$\rho_p = \frac{Q}{3600 \cdot S \cdot h} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (4.40)$$

де Q – продуктивність дозатору, кг/год;
 h – висота приймальної камери, м;
 S – площа активної зони решета, м².

До якісних показників процесу дозування відносять нерівномірність видачі потоку корму дозатором та показник питомої енергоємності.

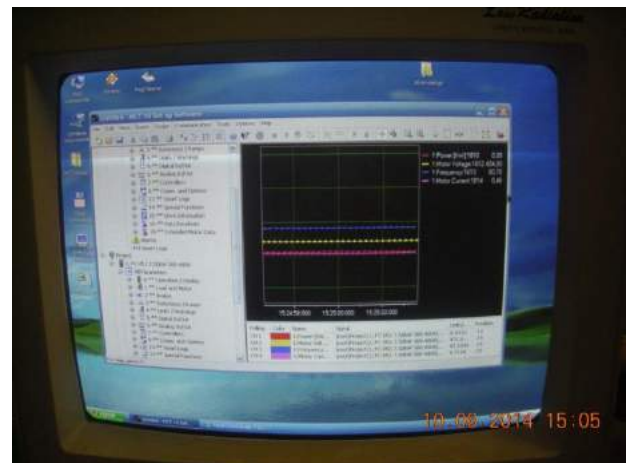
Нерівномірність видачі потоку корму барабанним дозатором оцінюють за коефіцієнтом варіації, що запропонував Г. В. Веденяпін [233], Е. С. Вентцель [281], Н. В. Смирнов [282] та ін., який розраховують згідно формул (4.10) – (4.21).

Витрати потужності на процес дозування консервантів барабанним дозатором фіксували за допомогою контрольно - вимірювального комплексу (рис. 4.7) за показниками амперметра, вольтметра, ватметра, а питома енергоємність визначалася по формулі [281]

$$q_N = \frac{N}{Q} \cdot 100\%, \quad (4.41)$$



а)



б)

Рис. 4.7 – Загальний вигляд вимірювального стану: а) перетворювач частоти Danfoss VLT Micro FC51; б) програмний комплекс МСТ-10; 1 – перетворювач частоти Danfoss FC-51; 2 – персональний комп'ютер.

де $\bar{\lambda}$ – потужність, що споживається дозатором, визначається за формулою

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot I_i}{n}, \quad (4.42)$$

де U_i – напруга в електричній мережі при i -ом замірі, В;

I_i – споживана сила струму при i -ом замірі, А;

n – кількість замірів на одному режимі роботи дозуючого пристрою.

4.2.3.4 Визначення якісних показників процесу ущільнення рослинної сировини

Основний показник, за яким можливо оцінити якість закладеної на зберігання рослинної сировини без хімічних аналізів, це щільність пакунків. Її визначають через одну годину після герметизації пакунку.

Сутність методу оцінки якості за щільністю пакунку із рослинною сировиною полягає в тому, що при більшій щільності пакунку остаточний вміст повітря у рослинній сировині зменшується. Визначення щільності пакунків може відбуватися двома методами: визначення щільності за вагою та об'ємом пакунку та за допомогою приладу для визначення щільності консервованих кормів [283].

Прилад для визначення щільності консервованих кормів (рис. 4.8) містить раму 1 у вигляді двох напрямних зварених між собою планкою 2, до якої прикріплена штанга 3 з наконечником у вигляді п'яти 4. Напрямні рами 1 забезпечені штоками 5, 6, 7. Шток 7 має підпружинений засіб індикації 8. Штоки 5 і 6 з'єднані між собою перекладиною 9, з можливістю вертикального переміщення вздовж штоків 5, 6 та фіксації на них фіксаторами 10. До перекладки 9 приєднаний засіб вимірювання робочого тиску 11, об'єднаний з навантажувальним пристроєм у вигляді двоплечого важеля 12. Шток 7 фіксується

за допомогою фіксатора 13. Рама 1 містить дві ручки для транспортування 14.

Прилад для визначення щільності консервованих кормів працює наступним чином. Прилад для визначення щільності консервованих кормів (рис. 4.8) встановлюється на поверхні закладеного до полімерного сховища корму.

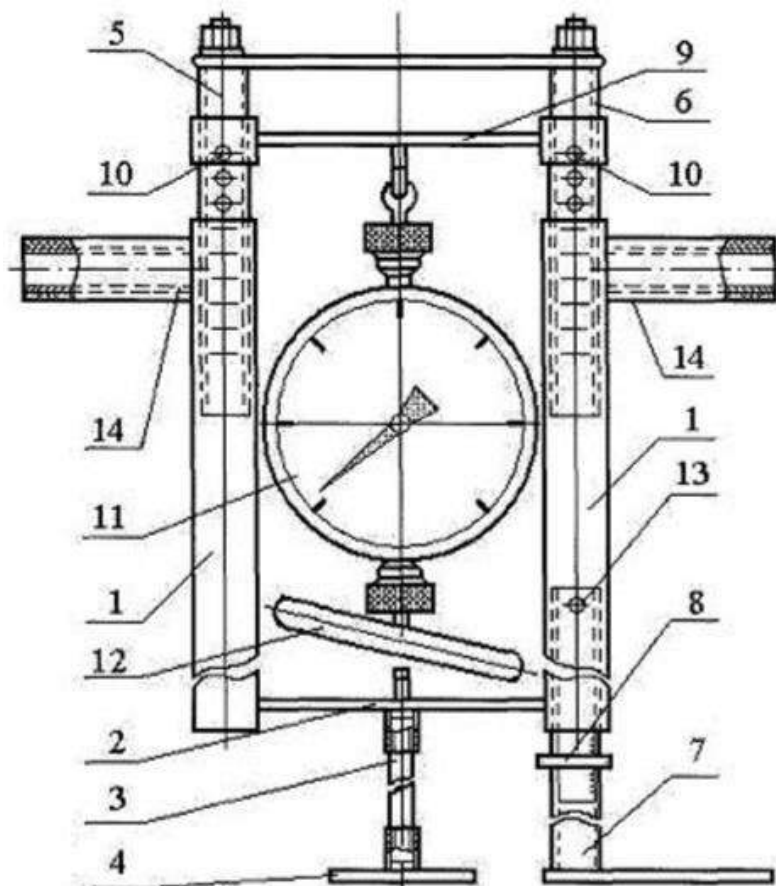


Рис. 4.8 – Прилад для визначення щільності консервованих кормів: 1 – рама; 2 – з'єднувальна планка; 3 – штанга; 4 – п'ята; 5, 6, 7 – штоки; 8 – засіб індикації; 9 – переключина; 10, 13 – фіксатори; 11 – засіб вимірювання робочого тиску (динамометр); 12 – двуплечий важіль; 14 – ручки для навантаження та транспортування.

За допомогою фіксаторів 10 переключина 9 фіксується на штоках 5 і 6, які пересуваються вздовж напрямних рами 1. Після встановлення та вирівнювання штанги 3, прикріпленої до планки 2 з наконечником у вигляді п'яти 4 та штоку 7, підпружинений засіб індикації 8 виставляється на нульову відмітку, виймається фіксатор 13 і вивільняється шток 7. До двуплечого важеля 12 прикладається зусилля в 200 Н, яке контролюється за допомогою засобу

вимірювання робочого тиску 11. У навантаженому стані прилад витримується 30 секунд. Дані вимірювань знімаються з підпружиненого засобу індикації 8, які дозволяють отримати дійсне значення щільності за допомогою оцінювальної шкали, яка йде у комплектації до приладу. На наступну позицію прилад пересувається за допомогою двох ручок для транспортування 14.

Дані отримані в результаті вимірювань щільності рослинної сировини зводять до таблиць зі значеннями показників процесу ущільнення рослинної сировини двогвинтовим ущільнювачем.

4.2.3.5 Аналіз математичної моделі процесу

Експериментальні дані, одержані в процесі досліджень обробляються загальноприйнятими методами математичної статистики. Результати наводяться аналітичними залежностями та у графічному вигляді для наочного відображення взаємозв'язку досліджуваних факторів.

Для математичного опису області оптимуму отриманих залежностей багатфакторного експерименту найчастіше використовується математична модель — рівняння регресії у вигляді функції відклику \hat{y} , відрізка ряду Тейлора у вигляді поліному другого ступеня [284, 285].

$$\hat{y} = b_0 + b_i x_i + b_{ij} x_i x_j + b_{ii} x_i^2, \quad (4.43)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} — коефіцієнти регресії, отримані за вибірковою оцінкою.

Дослідженням та аналізом рівняння (4.43), яке представляє математичну модель процесу у вигляді полінома другого порядку, вирішуються такі задачі: визначається центр поверхні відклику; отримане рівняння приводиться до канонічного виду й визначається тип поверхні відклику; визначається оптимум досліджуваних параметрів. При цьому застосовуються методи аналітичної геометрії й лінійної алгебри. Використання матричної форми має ряд переваг — рівняння набувають загальності і їхнє розв'язання може застосовуватися до будь-якої задачі незалежно від кількості членів у них.

Визначення координат центра поверхні відклику знаходиться рішенням системи рівнянь часткових похідних параметрів оптимізації [244]

$$\frac{\delta \tilde{y}}{\delta x_1} = 0; \quad \frac{\delta \tilde{y}}{\delta x_2} = 0; \quad \dots \quad \frac{\delta \tilde{y}}{\delta x_n} = 0. \quad (4.44)$$

У матричній формі ця система має вигляд

$$A \cdot X = C, \quad (4.45)$$

де A – симетрична квадратна матриця n -го порядку

$$A = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & \dots & 0,5b_{1n} \\ 0,5b_{21} & b_{22} & \dots & 0,5b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0,5b_{n1} & 0,5b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix};$$

$$X - \text{вектор-стовпець з елементів } x_1, x_2, \dots, x_n, X = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{vmatrix};$$

C – вектор-стовпець з елементів $-0,5b_{1n+1}, -0,5b_{2n+1}, \dots, -0,5b_{nn}$,

$$C = \begin{vmatrix} -0,5b_{1n+1} \\ -0,5b_{2n+1} \\ \dots \\ -0,5b_{nn} \end{vmatrix}.$$

Для визначення типу поверхні відклику і її аналізу функція приводиться до канонічного вигляду

$$Y - Y_s = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{nn}X_n^2, \quad (4.46)$$

де Y – значення критерію оптимізації;

Y_s – його значення в оптимальній точці;

B_{11}, \dots, B_{nn} – коефіцієнти регресії канонічної форми, тобто власні

значення матриці A , одержані з рівняння $\det(A - B \cdot E) = 0$;

E – одинична матриця.

Аналіз поверхні відклику, обумовлений рівнянням регресії, виконується за

допомогою двовимірних перетинів при фіксованих рівнях інших факторів [244]

$$y = b_{n+1 n+1} + b_{i n+1}x_i + b_{j n+1}x_j + b_{ij}x_i x_j + b_{ii}x_i^2 + b_{jj}x_j^2. \quad (4.47)$$

Канонічна форма цього рівняння поверхні відгуку має вигляд

$$Y - Y_s = B_{ii}X_i^2 + B_{jj}X_j^2, \quad (4.48)$$

де Y_s – значення критерію оптимізації в центрі нової системи координат, рівне $Y_s = D/J$;

B_{ii}, B_{jj} – коефіцієнти регресії, визначені з рівняння $B^2 - I \cdot B + J = 0$;

I – перший інваріант (сума коефіцієнтів квадратичних членів), тобто

$$I = b_{ii} + b_{jj};$$

J – другий інваріант (малий дискримінант), $J = \det \begin{vmatrix} b_{ii} & 0,5b_{ij} \\ 0,5b_{ji} & b_{jj} \end{vmatrix}$;

D – третій інваріант (великий дискримінант)

$$D = \begin{vmatrix} b_{ii} & 0,5b_{ij} & 0,5b_{in+1} \\ 0,5b_{ji} & b_{jj} & 0,5b_{jn+1} \\ 0,5b_{n+1i} & 0,5b_{n+1j} & b_{n+1n+1} \end{vmatrix}$$

Координати X_{oi} та X_{oj} центра нової системи знаходяться з виразу

$$\begin{vmatrix} X_{oi} \\ X_{oj} \end{vmatrix} = \frac{I}{J} \begin{vmatrix} b_{ii} & -0,5b_{ij} \\ -0,5b_{ji} & b_{jj} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} b_{in+1} \\ b_{jn+1} \end{vmatrix}. \quad (4.49)$$

Кут повороту $\alpha_{\text{пк}}$ нової системи координат знаходиться як кут між віссю OX_i й напрямом відповідного характеристичного числа B_{ii} [284]

$$\alpha_{\text{пк}} = \frac{1}{2} \cdot \text{arctg} \frac{B_{ii} - b_{ii}}{b_{ii}}. \quad (4.50)$$

Рівняння (4.47) може представляти еліпс (при $J > 0$), гіперболу ($J < 0$) або параболу ($J = 0$). При $J \neq 0$ ці лінії будуть дійсними, а при $J = 0$ вироджуються в точку. Крім того, еліпс може бути уявним, якщо його осі не позитивні [286]. При підстановці різних значень варійованих факторів одержують рівняння відповідних контурних кривих, що представляють лінії рівного значення досліджуваних факторів [244].

Усе різноманіття поверхонь відгуку, описуваних рівнянням виду (4.47), можна розділити на три класи [244, 287, 288].

До першого класу належать поверхні, що мають екстремум — максимум чи мінімум. У цьому випадку всі коефіцієнти канонічної форми мають однакові знаки, тобто $J > 0$, а центр поверхні знаходиться поблизу центру експерименту. Аналіз таких поверхонь закінчується приведенням рівняння регресії до канонічної форми. У цьому разі треба лише поставити кілька дослідів поблизу центру поверхні й переконатися, що значення функції відгуку, передбачені рівнянням регресії, досить добре збігаються з експериментальними даними.

Якщо такий поліном містить лінійні, парні і квадратичні ефекти, то він представляє собою еліпсоїд, причому якщо опуклістю вниз якщо квадратичні ефекти позитивні і опуклістю вгору при негативних квадратичних ефектах. Їх ізолінії — сімейство еліпсів із загальним центром. На цих рисунках над зображеннями поверхні подано функцію відгуку, наведену в кодованому вигляді.

До другого класу належать поверхні типу мінімаксу, тобто сідлоподібної форми. У них коефіцієнти рівняння у канонічному вигляді мають різні знаки (тобто має місце $J < 0$). Він представляє собою гіперболічний параболоїд, у вигляді сідлоподібної поверхні. Його ізолінії є сімейством із загальним центром, а центр поверхні знаходиться поблизу від центру експерименту.

У сідлоподібній точці за однією змінною буде мінімум функції, а за другою — максимум і ця точка не буде екстремальною одночасно для обох змінних. Таким чином методи класичного аналізу на екстремум тут непридатні [244].

Якщо поліном не містить квадратичних ефектів ($b_{11} = b_{22} = 0$), — (неповний поліном другого порядку), то він описує сідлоподібну поверхню.

Виконання умови $J < 0$ свідчить про його гіперболічний характер.

Такий поліном отримується при варіюванні факторів на двох рівнях. Його ізолінії представляють собою сімейство гіпербол із загальним центром.

До третього типу відносяться гребеневі поверхні — гіперболічні (при умові $J < 0$) та параболічні циліндри (при $J = 0$).

Поліном, який представляє собою гіперболічний циліндр, не містить один з квадратичних ефектів, тобто b_{11} чи b_{22} дорівнюють нулю — (неповний поліном другого порядку), він описує сідловидну поверхню гіперболічного циліндра.

Тут варто зауважити, що сам гребінь буває за умови якщо коефіцієнт квадратичного члена позитивний. При негативному коефіцієнті замість гребеня отримується рівчак.

Ізолінії представляють собою сімейство гіпербол із загальним центром.

Якщо поліном містить по одному фактору лише лінійний ефект, а по другому лінійний, парний і квадратичний, то він описує параболічний циліндр ($J = 0$) з опуклістю вниз при позитивному квадратичному ефекті і вгору — при негативному.

При цьому ізолінії представляють собою паралельні прямі; абсолютні числові оцінки лінійних ефектів можна інтерпретувати як швидкості впливу факторів на функцію відгуку — чим більше значення лінійного коефіцієнту, тим сильніше його вплив, причому за знаками лінійних ефектів можна знайти напрям зміни функцію відгуку від лінійного коефіцієнту.

Для візуалізації отриманого рівняння функції відгуку, як правило, використовуються тривимірні поверхні парних взаємодій досліджуваних факторів, а так, як при регресійному аналізі найбільше зустрічаються проведення трифакторного експерименту, доводиться будувати три поверхні відгуку.

Для скорочення кількості поверхонь відгуку нами використовується графік, де фактори представлені сторонами правильного трикутника (симплекса), рівні одиниці, а висотою є значення функції відгуку.

Сторони основи трикутника представляють в масштабі діапазони зміни, тобто розмах досліджуваних факторів. Їх поточне значення розраховується за виразом

$$x_i = x_{i_{\min}} + (x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}})k. \quad (4.51)$$

де $x_{i_{\min}}$, $x_{i_{\max}}$ — відповідно мінімальне та максимальне значення i -го фактору;

k — частка довжини одиничної сторони симплекса.

4.3 Висновки по розділу

1. Запропоновано програму та методику лабораторних і експериментальних досліджень визначення фізико – механічних властивостей рослинної сировини (модуль пружності, модуль згину, модуль в'язкості).

2. Розроблено конструктивно - технологічну схему експериментального обладнання (рис. 4.4) для ущільнення, внесення консерванту та пакування рослинної сировини до полімерних сховищ, на основі якої і було створено дієздатну лабораторну установку лінії ущільнення та пакування рослинної сировини із внесенням консерванту у полімерні сховища.

3. Розроблено методики досліджень окремих процесів представленого обладнання, а саме пресу попереднього ущільнення, барабанного дозатору із комірковою дозуючою поверхнею та двогвинтового ущільнювача рослинної сировини.

4. Розроблено технологічний регламент для технологічної лінії лінію ущільнення та пакування рослинної сировини із внесенням консерванту у полімерні сховища.

РОЗДІЛ 5

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО – ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Фізико-механічні властивості рослинної сировини

5.1.1 Модуль пружності зсуву стебел, сформованих в пучок

Після проведення розрахунків згідно отриманих лабораторних досліджень були отримані поверхні відгуку залежностей модулю зсуву G від кута повороту φ та крутного моменту $M_{кр}$ для одного стебла та пучка стебел, графічні зображення яких представлено на рис. 5.1

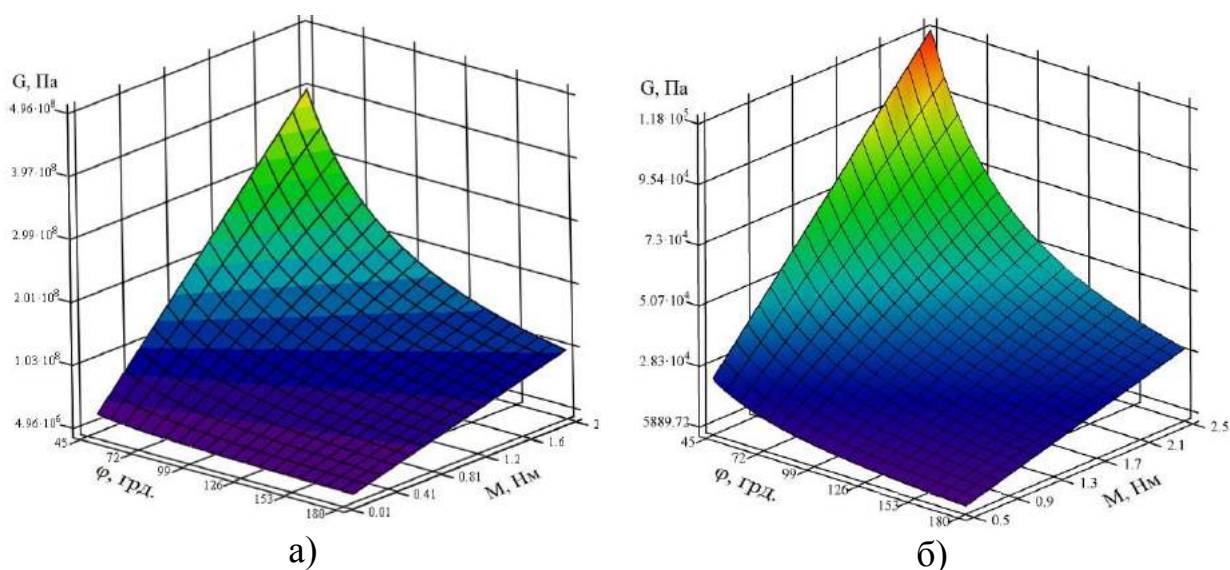


Рис. 5.1 – Графічне зображення залежності модулю зсуву G від кута повороту φ та крутного моменту $M_{кр}$: а – для одного стебла; б – пучка стебел.

Незважаючи на однотипність виразів формул (3.5) і (3.17), результати різняться хоч би виходячи з того, що при деформації пучка стебел завжди наявним буде їх взаємне радіальне переміщення, яке супроводжується тертям. При цьому для стебел у пучку вже не буде відбуватися так званого чистого зсуву, а відбуватимуться як зсув, так і згинання. Особливо цей факт буде по-

мітний із віддаленням стебел від центральної вісі пучка. Саме цим і можна пояснити менші значення модулю зсуву для пучка стебел.

5.1.2 Модуль пружності згину стебел, сформованих в пучок

Результатом досліджень модулю пружності стали поверхні відгуку згідно залежностей модулю пружності від зміни зусилля і переміщення стебел (я) приведені на рис. 5.2

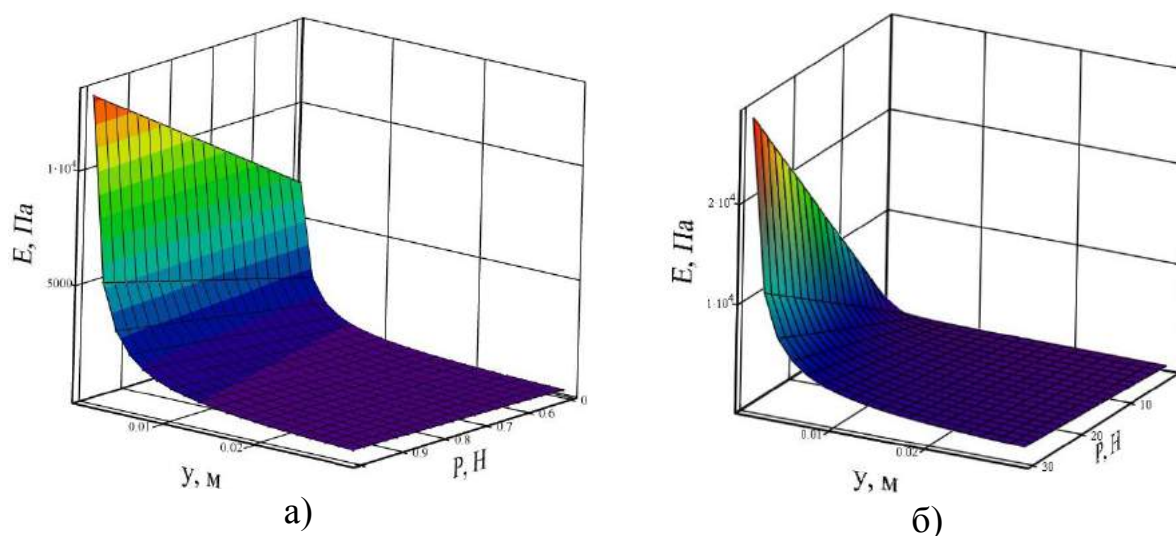


Рис. 5.2 – Графічне зображення залежності модуля пружності E від переміщення стебла під дією навантаження P : а – для одного стебла середнім діаметром 3,2 мм; б – пучка стебел.

Аналізуючи наведені поверхні можна зробити висновок про збільшення модулю пружності зі зменшенням довжини стеблин (l) та збільшенні діаметру пучка стеблин чи стеблини.

5.1.3 Коефіцієнт в'язкості рослинної сировини

При визначенні коефіцієнту в'язкості рослинної сировини передбачалося заміри амплітуди затухаючих коливань зразку визначеної довжини та діаметру із осцилятором та аналогово - цифровим перетворювачем, який з'єднаний із персональним комп'ютером для виведення даних.

Після отримання цифрових даних було збудовано графіки (рис. 5.3), згідно якому беруться дані амплітуди та періоду власних коливань.

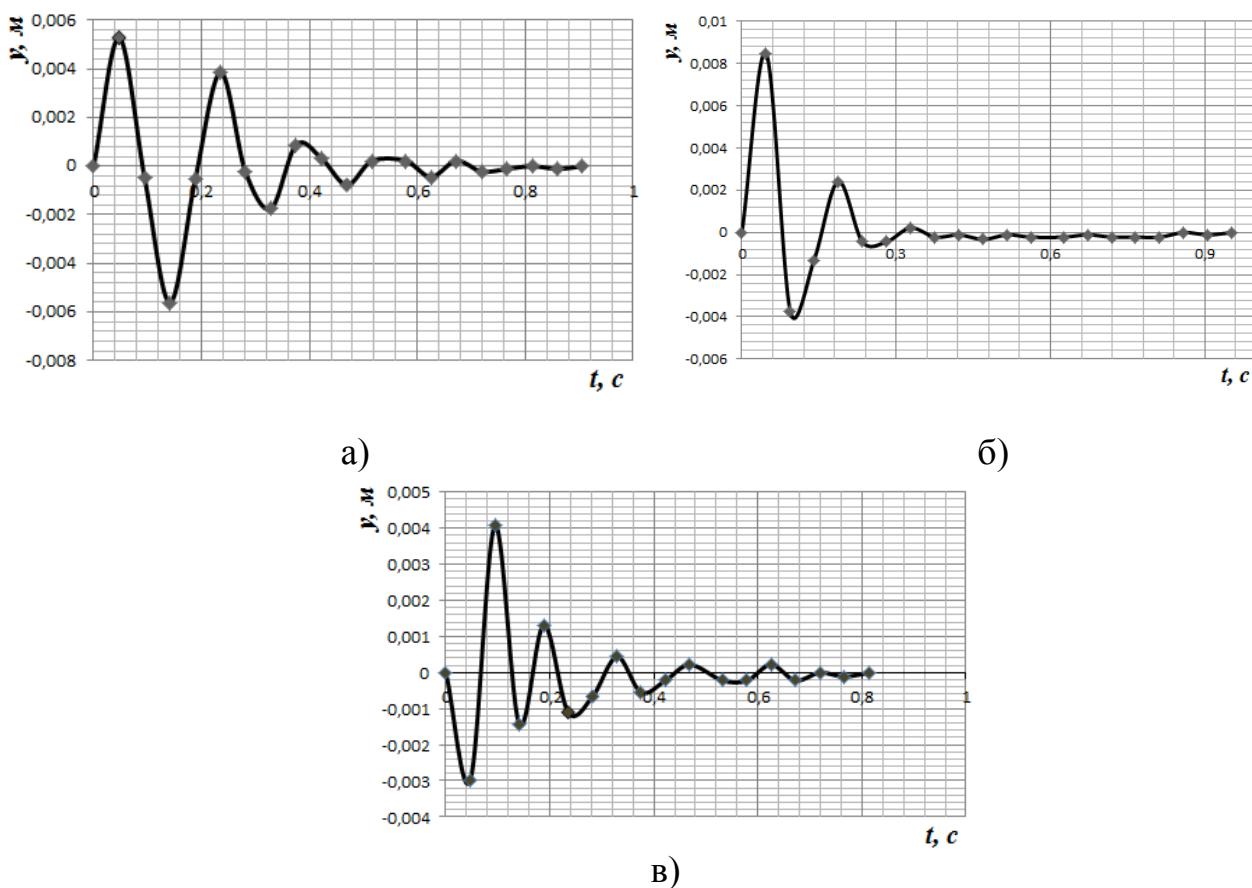


Рис. 5.3 – Графічна інтерпретація коливань пучка стебел із довжиною 0,2 м, зосередженою масою 0,06 кг, щільністю $200,55 \text{ кг/м}^3$, діаметрами 44 мм (а), 48 мм (б), 50 мм (в)

Далі за формулами (4.1, 4.2) визначали модуль пружності та коефіцієнт в'язкості.

Після підстановки отриманих даних в формули (4.1, 4.2) ми отримали наступні значення модуля пружності та коефіцієнту в'язкості: при діаметрі пучка 44 мм $E = 7,198 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\mu = 30,586 \text{ Па}\cdot\text{с}$; при діаметрі 48 мм $E = 8,235 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\mu = 32,488 \text{ Па}\cdot\text{с}$; при діаметрі 50 мм $E = 9,224 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\mu = 35,716 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [289].

Отримані результати підтверджують дані отримані аналітичним шляхом. В свою чергу слід зауважити достатню точність отриманих даних для інженерних розрахунків модулю пружності. Отже для отримання модулю в'язкості необхідно застосування додаткового лабораторного обладнання.

5.1.4 Показники якості рослинної сировини

Результати досліджень ущільненої рослинної сировини (люцерни), після двох місяців зберігання, в хімічній лабораторії передбачали також визначення зольності рослинної сировини (методику не наведено) згідно [290, 291, 292] (рис. 5.4). Результати заміру зольності наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати проведення хімічних аналізів із визначення зольності рослинної сировини

№ проби	Маса тигля	Маса тигля з навіскою	Маса тигля з навіскою після висушування	Маса навіски	Маса золи	Зольність, %	Середня зольність, %
Люцерна ущільнена після зберігання							
1	87,7602	90,8674	88,4526	3,1072	0,6924	22,28	18,97
2	90,4581	93,4624	91,0020	3,0043	0,5439	18,10	
3	78,4418	81,6450	78,9714	3,2032	0,5296	16,53	

Під час проведення хімічних аналізів було визначено теплоту згоряння зразків рослинної сировини, результати наведені в табл. 5.2

Згідно запропонованих методик в п. 4.2.1.5 було проведено аналіз представлених зразків рослинної сировини на вміст сирого жиру, сирі клітковини та загального азоту.

Результати дослідів показали, що вміст сирого жиру в представлених зразках склав 2,25% за визначенням по методу Сакслета.

Таблиця 5.2 – Результати проведення хімічних аналізів із визначення теплоти згоряння рослинної сировини

№ проби	Навіска, n (г)	Нормальн. солі Мора, К	Контроль, а (мл)	Об'єм розчину солі Мора для зразку, в (мл)	Теплота згоряння, Q (ккал/г)	Середнє значення, Q _{сер} (ккал/г)
1	0,0250	24,6	51,4	24,3	4,05	4,047
2	0,0227			24,6	4,01	
3	0,0212			25,5	4,08	

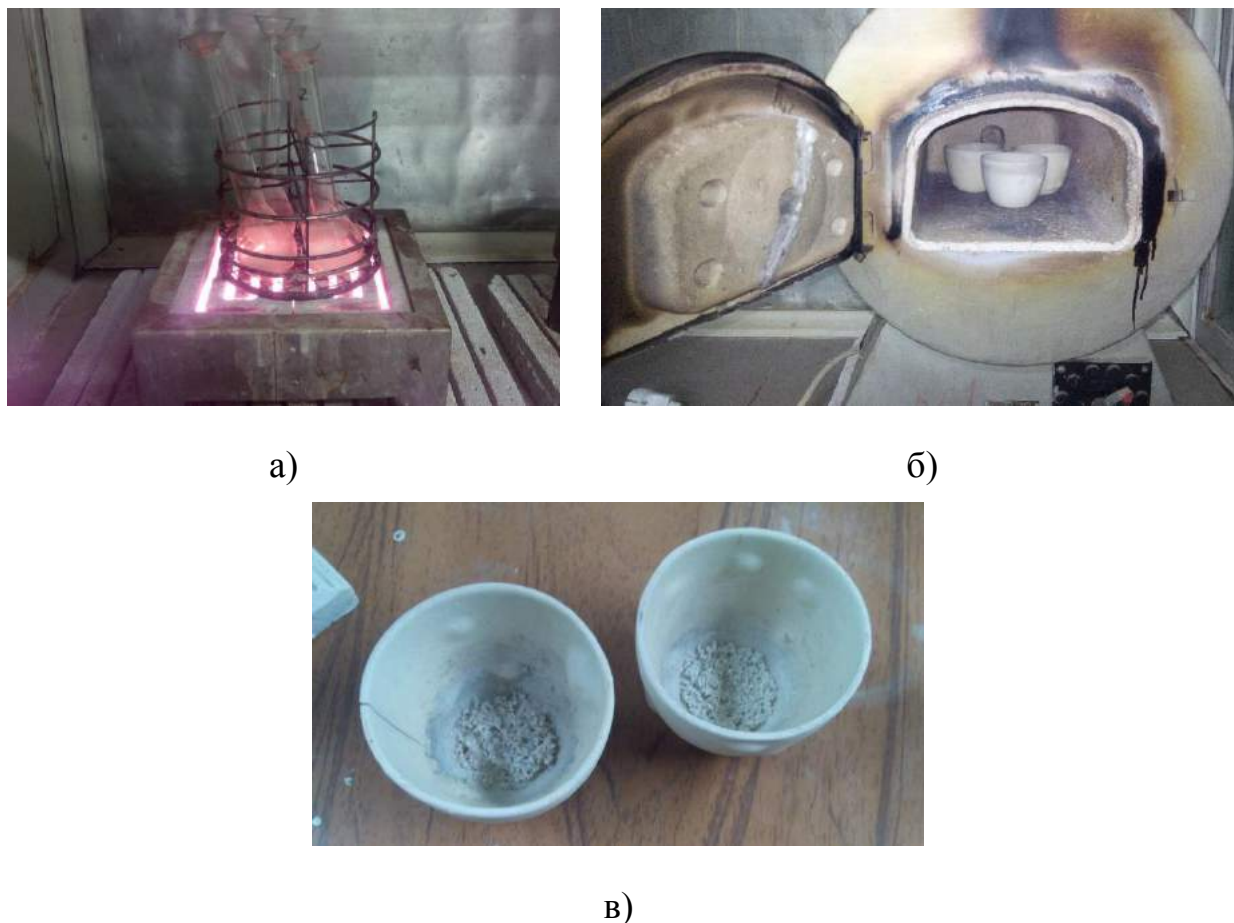


Рис. 5.4 – Проведення хімічних досліджень із замірів зольності: а) сушіння зразків; б) спалювання зразків в муфельній печі; в) зольні залишки.

При дослідженнях рослинної сировини на вміст сирої клітковини були отримані результати наведені в табл.. 5.3

Таблиця 5.3 – Результати проведення хімічних аналізів із визначення вмісту сирої клітковини

№ проби	Навіска, n (г)	Нормальн. солі Мора, К	Контроль, а (мл)	Об'єм розчину солі Мора для зразку, в (мл)	Вміст сирої клітковини, %	Середнє значення, %
1	0,0510	24,6	48,5	36,4	16,01	20,22
2	0,0511			31,0	23,12	
3	0,0552			30,9	21,52	

Також завдяки проведеним хімічним експертизам було встановлено вміст загального азоту, результати замірів якого наведено в табл.. 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати проведення хімічних аналізів із визначення вмісту загального азоту

№ проби	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Середнє значення	Дельта	Вміст азоту, %	Середній вміст азоту, %
Люцерна ущільнена після зберігання							
1	2,8	2,6	2,7	2,70	3,13	2,44	2,45
2	2,6	2,8	2,8	2,73	3,10	2,41	
3	2,6	2,6	2,7	2,63	3,20	2,49	
Контроль	5,8	5,8	5,9	5,83	-	-	-

Процес проведення титрування надлишків сірчаної кислоти розчином луѓи представлений на рис. 5.5.



Рис. 5.5 – Процес проведення титрування при визначенні вмісту загального азоту

Аналіз хімічного складу ущільненого кормового матеріалу проводився у хімічній лабораторії Таврійського державного агротехнологічного університету.

5.2 Параметри технологічної лінії ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням консерванту

5.2.1 Конструктивно-технологічні параметри процесу попереднього ущільнення

5.2.1.1 Проведення дослідження

Методикою проведення досліджень процесу попереднього ущільнення рослинної сировини передбачається визначення основних технологічних параметрів як матеріалу, що ущільнюється, так і обладнання.

Процес попереднього ущільнення рослинної сировини експериментальним зразком (рис. 5.6) проходив наступним чином: спочатку рослинна сировина завантажується в приймально-формуючу камеру пресу попереднього ущільнення, після чого вмикається привод поршня пресу. Процес повторюється після повернення поршня до початкового положення. В кожному експерименті ущільнену рослинну сировину, отриману при встановлених режимах роботи машини, відбирали та вимірювали їх лінійні розміри та масу.



а)



б)

Рис. 5.6 – Експериментальні дослідження процесу попереднього ущільнення рослинної сировини: а – при попередньому ущільненні сінажу; б – при попередньому ущільненні вороху.

Щільність попередньо ущільненої рослинної сировини визначали за загальновідомою формулою

$$\rho = \frac{M_3}{l_3 \cdot S_3}, \quad (5.1)$$

де M_3 – маса зразка ущільненої рослинної сировини, кг;

l_3 – середні значення довжини зразка рослинної сировини, м;

S_3 – площа поперечного перетину зразка ущільненої рослинної сировини, м².

При проведенні досліджень виникла необхідність в реєстрації вимірювальних величин, які необхідні для оцінки якості роботи експериментальної установки пресу попереднього ущільнення рослинної сировини. Для цього було застосовано вимірювальний стенд із перетворювачем частоти Danfoss VLT Micro FC51, який був розміщений на стенді та під'єднаний до пресу за допомогою електричних кабелів (рис. 4.8).

Підчас реєстрації даних експерименту фіксувалося чотири змінних значення, це споживана потужність електродвигуна, сила струму, напруга, та швидкість обертання електродвигуна.

Для проведення хронометражних спостережень за процесом попереднього ущільнення рослинної сировини відмічався час проходження кожного етапу процесу. Відлік часу виконували за допомогою секундоміра механічного, з балансовим осцилятором, однострілкового, перервної простої дії типу СОП пр-2а-3-000 «Агат» 4282 ГОСТ 5072-79, призначеного для виміру інтервалів часу методом вмикання його на початку та вимикання по закінченню процесу, відмічаючи таким чином час проходження кожного етапу процесу, попереднього ущільнення рослинної сировини.

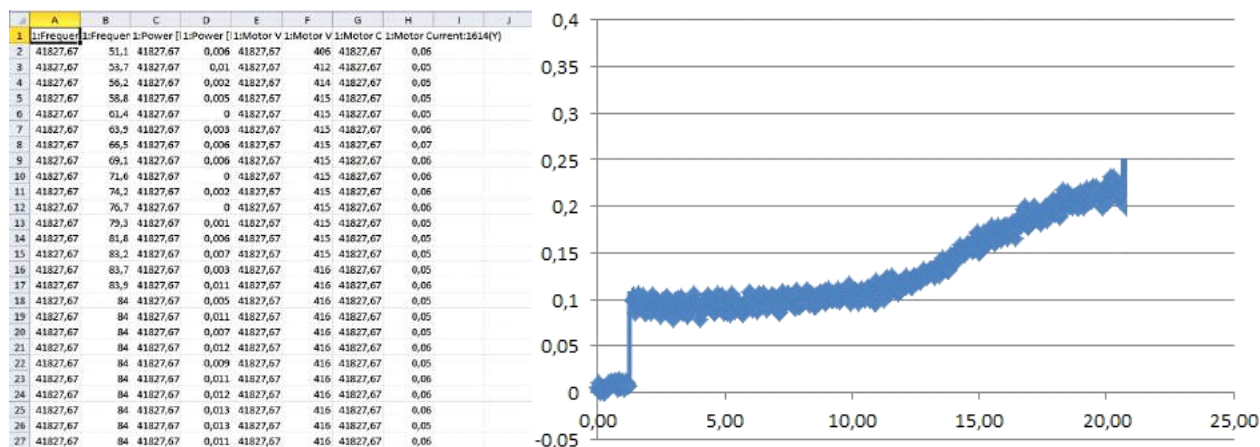
Кількість енергії, витраченої на процес попереднього ущільнення, визначали в процесі обробки отриманих даних з перетворювача частоти Danfoss VLT Micro FC51.

За отриманими даними, в результаті проведення експериментів, була збудована діаграма (рис. 5.7), яка вказує зміну значення споживаної потужності N , та тривалість циклу попереднього ущільнення $T_{ц}$.

Вирішення поставленої задачі здійснювали на експериментальному

зразку пресу попереднього ущільнення рослинної сировини.

Експерименти по визначенню конструкційних та режимних параметрів пресу попереднього ущільнення рослинної сировини проводилася з виконанням методики планування багатofакторних експериментів [288, 289, 290].



а)

б)

Рис. 5.7 – Отримані дані зміни показників процесу попереднього ущільнення (а) та циклограма (б) зміни потужності електродвигуна приводу механізму пресу попереднього ущільнення рослинної сировини

Визначення кількісних і енергетичних характеристик досліджуваного процесу.

Продуктивність Q процесу (у кг/с) розраховували за виразом

$$Q = \frac{M}{t}, \quad (5.2)$$

де M – маса поданого матеріалу за проміжок часу t , кг;

t – тривалість дослідження, с.

Енергетична оцінка досліджуваної складовою устаткування включала визначення загальної потужності процесу і потужності холостого ходу.

Загальні питомі затрати енергії E_{Σ} (у кДж/кг) на процес дозування виначаються виразом

$$E_{\Sigma} = \frac{N}{Q}, \quad (5.3)$$

витрати енергії E (у кДж/кг) на виконання процесу становлять

$$E = \frac{N - N_{xx}}{Q}, \quad (5.4)$$

де N – потужність приводу дозатора, кВт;

N_{xx} – потужність холостого ходу дозатора, кВт;

Q – продуктивність, кг/с.

Результати експериментальних досліджень пресу попереднього ущільнення виконані за активним двофакторним експериментом при триразовому повторенні з рівнями варіювання кута нахилу верхньої формуючої поверхні камери пресування від 8° до 15° (інтервал варіювання 3.5°) і швидкість переміщення поршня пресу від 1.35 до 1.67 мм/с (інтервал варіювання 0.26 мм/с) згідно матриці досліджень табл. В1 додатку В, а саме: щільності маси в кінці процесу ущільнення, продуктивності процесу; споживаної потужності і – енергоємності процесу ущільнення для сінажної маси наведено в табл. В1 додатку В, вороху зернових — в табл. В2 додатку В.

5.2.1.2 Конструктивно-технологічні параметри пресу попереднього ущільнення

Для обробки отриманих експериментальних даних доцільно використовувати пакет прикладних програм Statistica [291].

Рівні варіювання незалежних факторів і їх комбінації при проведенні досліджень пресу попереднього ущільнення, представлені згідно трирівневої матриці повнофакторного плану другого порядку для двох факторів — кута нахилу α (град) верхньої стінки пресувальної камери і швидкості подачі V (мм/с) поршня пресу наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Рівні варіювання факторів при дослідженнях пресу попереднього ущільнення

№ п. п.	Рівень факторів			
	Кодований		Розкодований	
	X_1	X_2	α	V
1	1	1	15.0	2.2
2	-1	1	0	2.2
3	1	-1	15.0	0.6
4	-1	-1	0	0.6
5	1	0	15.0	1.4
6	-1	0	0	1.4
7	0	1	7.5	2.2
8	0	-1	7.5	0.6
9	0	0	7.5	1.4

Експериментальні дані, досліджень виконані для щільності ρ , продуктивності Q , потужності N і енергоємності E , виконані згідно табл. 5.1, наведені в табл. В.1 і В.2 додатку В.

Групуючи дані табл. В.1 і В.2 за трикратним повторенням для кута нахилу α верхньої стінки пресувальної камери і швидкості подачі V поршня пресу отримаємо табл. 5.6.

За даними, представленими в кореляційних таблицях (табл. В.3), отриманих на основі табл. В.1 і В.2, бачимо статистично значиму ($p < \alpha$, де α – прийнятий рівень значущості, рівний 0.05) позитивну помітну та помірну (за шкалою Чеддока [251]) кореляцію щільності, потужності та енергоємності з кутом нахилу верхньої стінки як при подачі сінажу, так і вороху.

Зі швидкістю подачі сінажу і вороху статистично корелюють всі досліджувані показники на рівні від помірного до досить високого, причому для енергоємності ця кореляція негативна.

У ході виконання регресійного аналізу виконується перевірка нульової статистичної гіпотези про відсутність взаємозв'язку незалежних факторів. Для цієї мети використано перевірку незалежних факторів на відсутність сильної лінійної взаємної кореляції з прийнятим рівнем значущості $\alpha = 0.05$.

Таблиця 5.6 – Середні значення показників попереднього ущільнення

№ досліджу	Кут нахилу α , град.	Швидкість подачі V , мм/с	Щільність ρ , кг/м ³	Продуктивність Q , кг/год.	Потужність N , кВт	Енергоємність E , кДж/кг
Подача сінажу						
1	15	2.2	628	695	2.70	14.33
2	0	2.2	350	610	1.72	10.46
3	15	0.6	406	190	1.56	30.45
4	0	0.6	360	160	0.89	20.44
5	15	1.4	514	474	2.25	17.60
6	0	1.4	373	405	1.35	12.34
7	7.5	2.2	583	663	2.01	11.18
8	7.5	0.6	437	189	1.09	21.19
9	7.5	1.4	526	453	1.63	13.37
Подача вороху						
1	15	2.2	462	520	2.30	15.98
2	0	2.2	273	455	1.46	11.60
3	15	0.6	284	139	1.32	34.40
4	0	0.6	253	121	0.75	22.32
5	15	1.4	363	343	1.87	19.73
6	0	1.4	278	303	1.16	13.83
7	7.5	2.2	411	504	1.72	12.32
8	7.5	0.6	301	141	0.93	23.62
9	7.5	1.4	358	332	1.38	14.96

Якщо будь-які з незалежних ознак сильно корельовані між собою, то необхідно включати в регресійний аналіз ті з них, які мають більш сильну кореляцію із залежною ознакою [263]. У нашому випадку ця перевірка не виконується, оскільки кут установки стінки пресуючої камери і швидкість переміщення поршня фактори між собою незалежні. Таким чином умова про відсутність відсутності взаємозв'язку незалежних факторів виконується.

Нами прийнята мінімальна кількість повторності, яка забезпечує 95 % надійність досліджу, — три, причому ця кількість повинні залишитися після попереднього оцінювання експериментальних даних — перевірки достовірності вимірів і вибраковування недостовірних значень.

Це дуже мала повторність для виявлення особливостей генеральної сукупності й отримання статистично достовірних висновків [243]. Тому для

опрацювання матеріалів використовуємо як параметричну оцінку за критерієм Стюдента [292], так і непараметричну — з використанням розмаху усіченої вибірки [293].

Для перевірки гіпотези про однорідність, тобто належність дисперсій результатна досліджень до однієї генеральної сукупності, використано параметричний критерій Кохрена G (G -критерій) є параметричним і використовується при експериментах з однаковою повторністю числа дослідів [294].

Результати попереднього оцінювання експериментальних даних визначення величин продуктивності, потужності та енергоємності за допомогою критеріїв Стюдента, розмаху усіченої вибірки та Кохрена при рівні значущості $\alpha = 0.05$ наведено в табл. Г.1.

За даними табл. Г.1 бачимо, що недостовірні значення не виявлено не за параметричною, ні за непараметричною оцінкою.

У результаті обробки розширеної матриці дослідження залежних факторів з доданням парних взаємодій незалежних факторів і їх квадратів, виконаної в розкодованому вигляді на основі табл. 5.6, за допомогою ППП Statistica отримуємо табл. Д.1 – Д.4 з коефіцієнтами регресії та їхньою оцінкою для вороху та сінажу.

У колонці b табл. Д.1–Д.4 представлено вільний член і коефіцієнти рівняння регресії для функції відклику другого порядку — математичної моделі досліджуваного процесу. З табл. Д.1–Д.4 бачимо, що ряд коефіцієнтів при лінійних, парних і квадратичних складових є статистично незначущими. Згідно [241] у подальшому математичні моделі досліджуваних параметрів повинна подаватися з виключенням статистично незначущих коефіцієнтів, проте завжди слід оцінювати вплив виключеного коефіцієнта на рівняння у першу чергу з умови збереження його адекватності, працездатності.

На основі табл. Д.1–Д.4 в табл. 5.7 наводяться коефіцієнти рівнянь регресії у вигляді виді поліномів другого порядку з частково вилученими незначущими коефіцієнтами за умови збереження його адекватності, працездатності.

Таблиця 5.7 – Коефіцієнти рівнянь регресії та статистична оцінка рівнянь

Показник	Щільність ρ , кг/м ³	Продуктив- ність Q , кг/год.	Потужність N , кВт	Енергоємність E , кДж/кг
Сінаж				
Вільний член	333.326	-63.753	0.417	30.816
Кут нахилу	17.289	4.258		0.155
Швидкість подачі		395.000	0.863	-21.230
Кут × Швидкість	9.667	2.292	0.013	
Квадрат кута	-1.366	-0.225	0.003	
Квадрат швидкості		-40.885	-0.128	5.581
Ступінь вільності неадекватності моделі	5	3	4	5
Ступінь вільності дослідів	3	5	4	3
Розрахунковий критерій F	148.546	4703.436	146.207	8.586
Табличний критерій F_T	7.764	14.885	9.605	7.764
Розрахунковий рівень значущості p	2.631E-05	4.890E-06	1.378E-04	2.040E-02
Показник детермінації r^2	0.9888	0.9999	0.9958	0.8665
Ворох				
Вільний член	241.701	-31.201	0.382	33.607
Кут нахилу	7.650	3.236		0.232
Швидкість подачі		265.313	0.680	-22.935
Кут × Швидкість	6.583	1.958	0.011	-0.321
Квадрат кута	-0.673	-0.216	0.002	0.048
Квадрат швидкості		-19.792	-0.089	6.042
Ступінь вільності неадекватності моделі	5	3	4	3
Ступінь вільності дослідів	3	5	4	5
Розрахунковий критерій F	55.282	4814.988	269.785	90.668
Табличний критерій F_T	7.764	14.885	9.605	14.885
Розрахунковий рівень значущості p	2.954E-04	4.722E-06	4.081E-05	1.799E-03
Показник детермінації r^2	0.9779	0.9999	0.9976	0.9985

З табл. 5.7 бачимо, що розрахунковий критерій Фішера F для всіх перевищує табличний F_T , розрахований для критичної двобічної області, тобто при подвійному зниженні рівня значущості $\alpha/2$ і даних ступенях вільності для коефіцієнта Фішера, більше табличного — $F < F_{\alpha/2}(v_1, v_2)_T$.

Обчислені показники детермінації значень рівнянь регресії з відповідними експериментальними даними перевищують мінімальний (0.75), таким чином рівняння регресії працездатні і мають практичний інтерес для цілей прогнозування [295].

Залежність щільності ρ (у $\text{кг}/\text{м}^3$) сінажу і вороху при попередньому підпресовуванні описується від кута установки α (у градусах) та швидкості подачі V (у $\text{мм}/\text{с}$) за даними табл. 5.7 проілюстровані на рис. 5.8 .

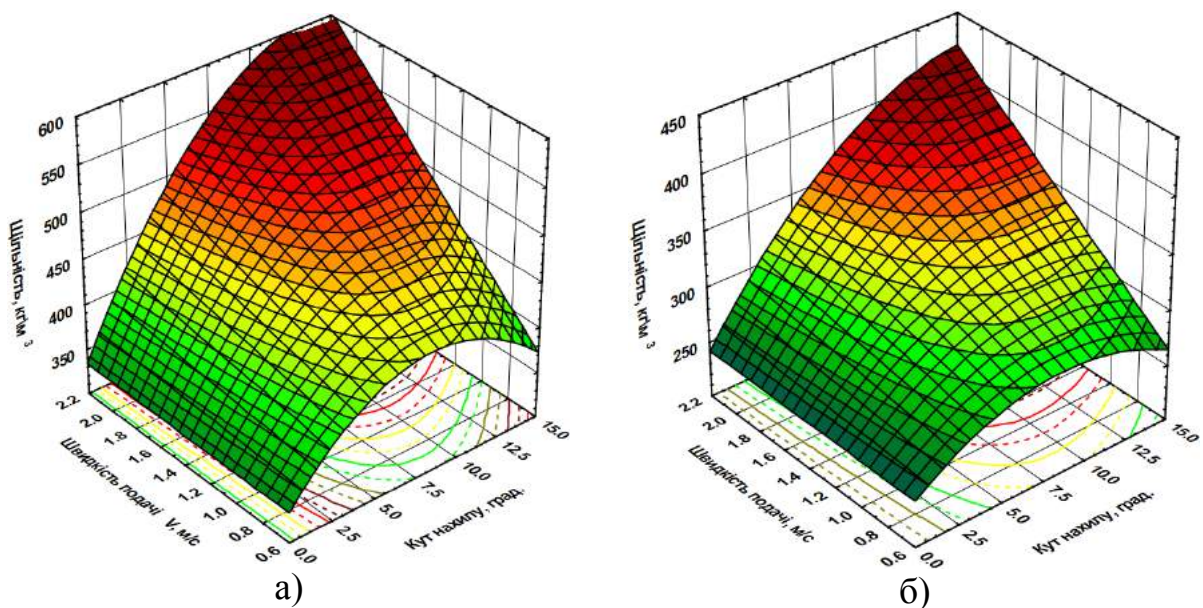


Рис.5.8 – Поверхня відгуку щільності маси від кута нахилу та швидкості подачі: а – для сінажу; б – для вороху.

Також слід зазначити той факт, що при порівнянні отриманих експериментальним шляхом поверхонь відгуку залежностей щільності від кута встановлення верхньої стінки ущільнюючої камери із графіками отриманими теоретичним шляхом (підрозділ 3.2.2, рис. 3.28, 3.29) знаходяться на рівні допустимої похибки у межах 8%.

Продуктивність підпресовування (у кг/год.) сінажу і вороху у залежності від кута установки α (у градусах) та швидкості подачі V (у мм/с), одержана за даними табл. 5.7 графічно представлені на рис. 5.9.

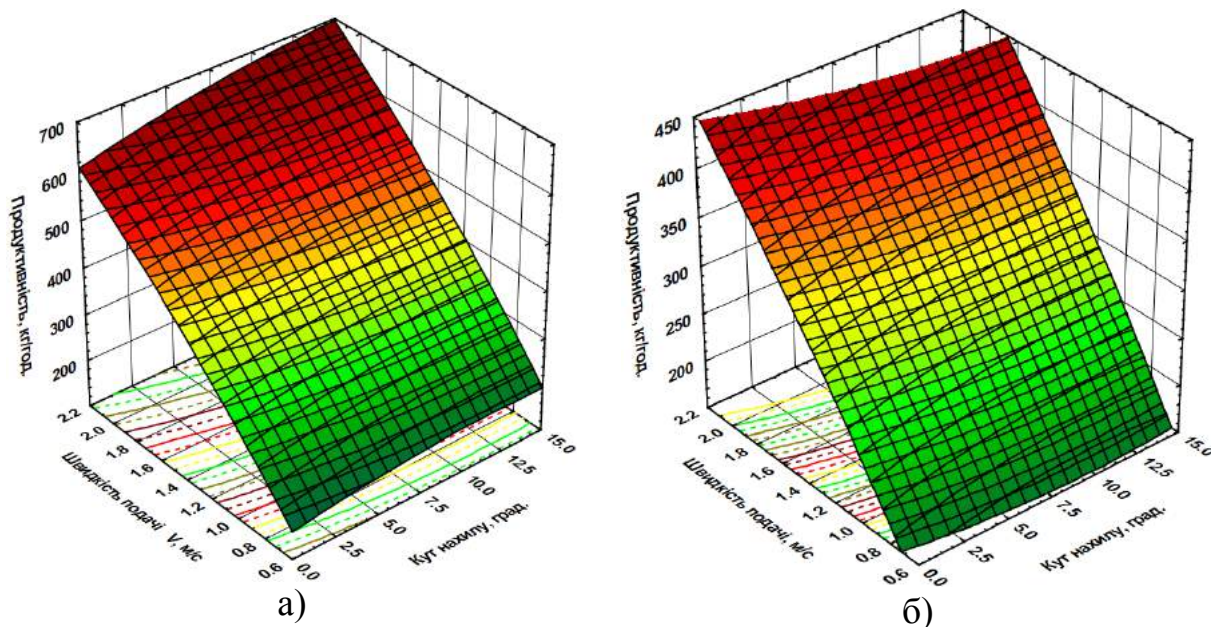


Рис.5.9 – Поверхня відгуку продуктивності подачі маси від кута нахилу та швидкості подачі: а – для сінажу; б – для вороху.

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, 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. Також слід зазначити на більшу ущільнювальну здатність сінажу у порівнянні із ворохом. Це 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. Залежність

потужності приводу (у кВт) від кута установки α (у градусах) та швидкості подачі V (у мм/с) за даними табл. 5.7 графічно представлені на рис. 5.10.

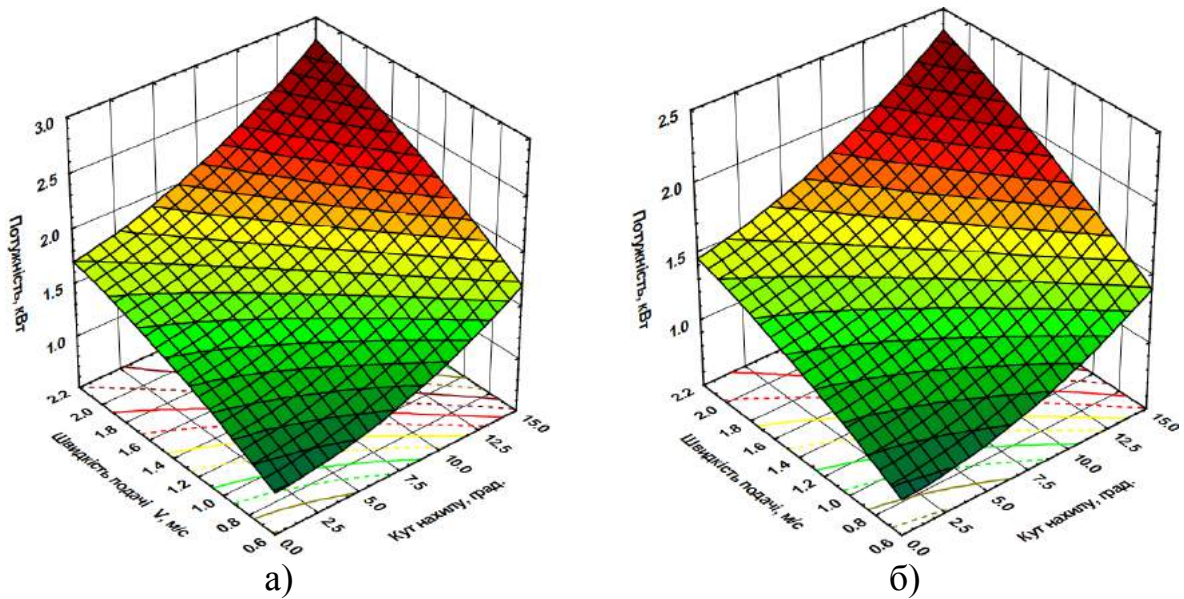


Рис.5.10 – Поверхня відгуку потужності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі: а – для сінажу; б – для вороху.

Енергоємність приводу (у кДж/кг) у залежності від кута установки α (у градусах) та швидкості подачі V (у мм/с) за даними табл. 5.7 графічно представлені на рис. 5.11.

Розглядаючи залежності енергоємності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі та їх графічне представлення на рис. 5. бачимо, що вони мають еліптичну форму, причому у обох мінімальне значення функції відгуку визначається досліджуваними факторами у межах їх варіювання на рівні кута нахилу від $5,0^{\circ}$ до $10,0^{\circ}$ та швидкості руху пресу попереднього ущільнення від 1,5 до 2,2 мм/с.

Слід вказати на оптимальний кут нахилу у $7,5^{\circ}$ при швидкості руху поршня пресу попереднього ущільнення у 2,2 мм/с, при встановленні цих параметрів спостерігається найменша енергоємність процесу попереднього ущільнення у розмірі близько 9,5 кДж/кг для сінажу та близько 12,3 кДж/кг для вороху.

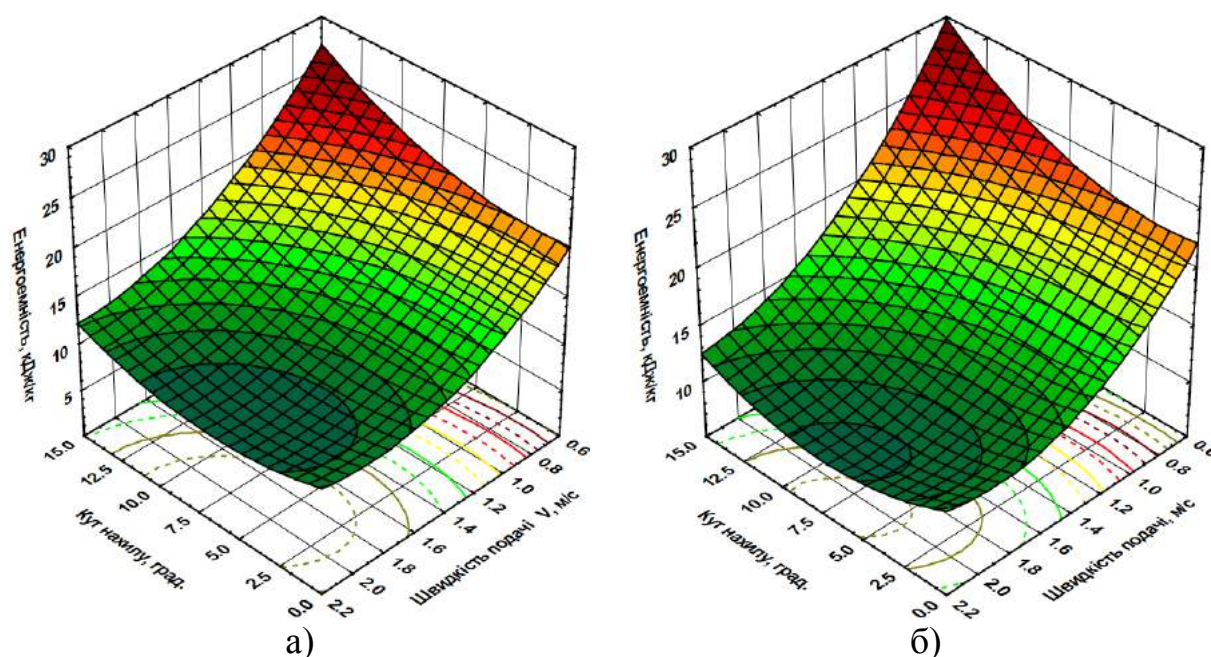


Рис.5.11 – Поверхня відгуку енергоємності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі: а – для сінажу; б – для вороху.

При параметрах мінімальної енергоємності процесу спостерігається прийнятна продуктивність на рівні 650 кг/год для сінажу та 430 кг/год для вороху. При цьому вихідна щільність, то вона знаходиться на рівні 550 кг/м^3 для сінажу та 380 кг/м^3 для вороху.

5.2.2 Конструктивно-технологічні параметри процесу внесення сипкого консерванту

5.2.2.1 Проведення дослідження

Для визначення нерівномірності внесення сипкого консерванту в рослинну сировину використовувався спеціальний стенд, який складається з барабанного дозатора консервантів 1, стрічкового транспортеру 2, на якому розміщуються коробки 3 для збору сипкого консерванту (рис. 5.12) [296]. Розмір коробки для збирання консерванту складає: довжина – 390 мм; ширина – 200 мм; висота – 50 мм. Швидкість переміщення коробів складає 0,0016 м/с.

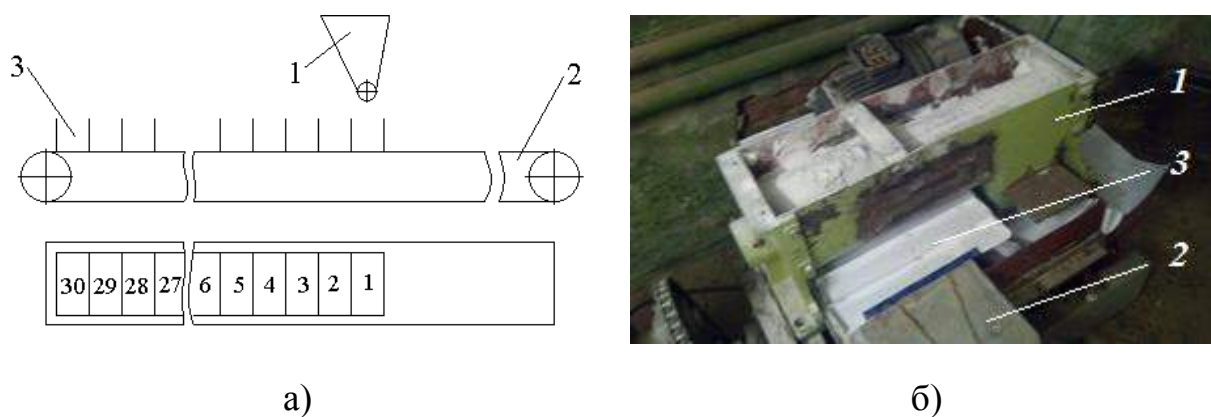


Рис. 5.12 – Схема стану для визначення нерівномірності внесення сипкого консерванту в рослинну сировину: а) схема проведення дослідів; б) реальне проведення дослідів; 1 – дозатор консервантів барабанний; 2 – транспортер стрічковий; 3 - короб для збору сипкого консерванту.

Статистична обробка і оцінка результатів виконувалася згідно підрозділу 4.2.4 Статистична обробка отриманих даних і аналіз математичної моделі процесу.

Кількісні і енергетичні характеристики досліджуваного процесу визначалися аналогічно викладеному у підрозділі 5.2.1 Дослідження пресу попереднього ущільнення.

Результати експериментальних досліджень барабанного дозатора консервантів виконані за активним трифакторним експериментом при триразовому повторенні з рівнями їх варіювання: частота обертання дозуючого барабану від 16 до 83 об/хв. (інтервал варіювання 33.5 об/хв.), діаметр отворів його решета від 3,5 до 5,5 мм (інтервал варіювання 1 мм) і розмір часток консерванту від 0,01 до 0,4 мм (інтервал варіювання 0,195 мм) згідно матриці досліджень (табл. Б2, додатку Б), а саме: продуктивності процесу, споживаної потужності та енергоємності процесу дозування, а також якісного показнику виконання процесу — коефіцієнта варіації.

Перші три з перелічених показників наведені в табл. 5.8.

В табл. Д.6 подано параметри об'єднаного коефіцієнта варіації для повторів, а саме його середнє значення і значення абсолютної та відносної похибки.

5.2.2.2 Конструктивно-технологічні параметри дозатора сипких консервантів

Рівні варіювання незалежних факторів і їх комбінації при проведенні досліджень дозатора сипких консервантів, представлені згідно трирівневої матриці повнофакторного плану другого порядку для трьох факторів — частоти обертання n (об/хв.) дозуючого барабану, діаметру комірок решета d (мм) і розміру часток D (у мм) сипкого консерванту, наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Рівні варіювання факторів при дослідженнях дозатора сухих консервантів

№ п. п.	Рівень фактора					
	кодований			розкодований		
	X_1	X_2	X_3	n	D	d
1	-1	-1	-1	15	3.5	0.1
2	1	-1	-1	80	3.5	0.1
3	-1	1	-1	15	4.5	0.1
4	1	1	-1	80	4.5	0.1
5	-1	-1	1	15	3.5	0.4
6	1	-1	1	80	3.5	0.4
7	-1	1	1	15	4.5	0.4
8	1	1	1	80	4.5	0.4
9	-1	0	0	15	4	0.25
10	1	0	0	80	4	0.25
11	0	-1	0	47.5	3.5	0.25
12	0	1	0	47.5	4.5	0.25
13	0	0	-1	47.5	4	0.1
14	0	0	1	47.5	4	0.4

Експериментальні дані, досліджень виконані для частоти обертання n дозуючого барабану, діаметру комірок решета d і розміру часток D сухого консерванту, проведені згідно табл. 5.8, наведені в табл. Д.5.

Групуючи дані табл. табл. Д.5 за трикратним повторенням для зазначених вище показників отримуємо табл. 5.9.

За даними, представленими в кореляційних таблицях (табл. Д.6), отриманих на основі табл. Д.5, бачимо статистично значиму ($p < \alpha$, де α – прийнятий рівень значущості, рівний 0.05) позитивну кореляцію за величиною від помітної до високої продуктивності, потужності та енергоємності з частотою обертання

дозуючого барабану та продуктивності, енергоємності і коефіцієнту варіації з розміром часток дозованого матеріалу, причому між продуктивністю і розміром часток кореляція негативна.

Статистично значуща кореляція досліджуваних показників з діаметром комірок решета не спостерігається.

Таблиця 5.9 – Середні значення показників дозування сипких консервантів

№ досліджу	Частота обертання n , об/хв.	Діаметр комірок решета d , мм	Розмір часток D , мм	Продуктивність Q , кг/год.	Потужність N , кВт	Енергоємність E , кДж/кг	Коефіцієнт варіації CV, %
1	15	3.5	0.1	51.5	0.13	9.29	5.07
2	80	3.5	0.1	81.1	0.40	17.68	3.63
3	15	4.5	0.1	63.8	0.11	6.28	4.53
4	80	4.5	0.1	105.9	0.39	13.27	3.03
5	15	3.5	0.4	56.1	0.13	8.35	9.57
6	80	3.5	0.4	28.2	0.50	63.57	9.27
7	15	4.5	0.4	37.6	0.11	10.74	8.33
8	80	4.5	0.4	30.6	0.50	58.61	7.90
9	15	4	0.25	94.5	0.13	5.11	5.33
10	80	4	0.25	111.3	0.46	14.86	4.47
11	47.5	3.5	0.25	112.6	0.32	10.21	5.63
12	47.5	4.5	0.25	121.7	0.31	9.09	4.67
13	47.5	4	0.1	80.8	0.27	11.90	3.97
14	47.5	4	0.4	34.3	0.32	33.81	8.63

У ході виконання регресійного аналізу виконується перевірка нульової статистичної гіпотези про відсутність взаємозв'язку незалежних факторів. Для цієї мети використано перевірку незалежних факторів на відсутність сильної лінійної взаємної кореляції з прийнятим рівнем значущості $\alpha = 0.05$. Якщо будь-які з незалежних ознак сильно корельовані між собою, то необхідно включати в регресійний аналіз ті з них, які мають більш сильну кореляцію із залежною ознакою [263]. У нашому випадку ця перевірка не виконується, так як зрозуміло, що частота обертання дозуючого барабану, діаметр комірки решета і розмір часток незалежні між собою фактори. Таким чином умова про відсутність взаємозв'язку незалежних факторів виконується.

Нами прийнята мінімальна кількість повторюваності, яка забезпечує 95 % надійності досліджу, — три, причому ця кількість повинна залишитися після попереднього оцінювання експериментальних даних — перевірки достовірності вимірів і вибраковування недостовірних значень.

Це дуже мала повторність для виявлення особливостей генеральної сукупності й отримання статистично достовірних висновків [228]. Тому для опрацювання матеріалів використовуємо як параметричну оцінку за критерієм Стюдента [292], так і непараметричну — з використанням розмаху усіченої вибірки [293].

Для перевірки гіпотези про однорідність, тобто належність дисперсій результату досліджень до однієї генеральної сукупності, використано параметричний критерій Кохрена G (G -критерій), оскільки він є параметричним і використовується при експериментах з однаковою повторюваністю числа дослідів [294].

Результати попереднього оцінювання експериментальних даних визначення величин продуктивності, потужності та енергоємності за допомогою критеріїв Стюдента, розмаху усіченої вибірки та Кохрена при рівні значущості $\alpha = 0.05$ наведено в табл. Е1.

За даними табл. Е1 бачимо, що недостовірні значення не виявлені не за параметричною, ні за непараметричною оцінкою.

У результаті обробки розширеної матриці дослідження залежних факторів з доданням парних взаємодій незалежних факторів і їх квадратів, виконаної в розкодованому вигляді на основі табл. 5.9, за допомогою ППП Statistica отримуємо табл. Ж.1 – Ж.4 з коефіцієнтами регресії та їхньою оцінкою для вороху та сінажу.

На основі табл. Ж.1 – Ж.4 в табл. 5.10 наводяться коефіцієнти рівнянь регресії у вигляді поліномів другого порядку з частково вилученими незначущими коефіцієнтами за умови збереження його адекватності та працездатності.

Таблиця 5.10 – Коефіцієнти рівнянь регресії та статистична оцінка рівнянь

Показник	Продуктивність Q , кг/год.	Потужність N , кВт	Енергоємність E , кДж/кг	Коефіцієнт варіації CV , %
Вільний член	309.765	0.403	49.388	18.711
Частота обертання	0.493	0.004	0.059	-0.016
Діаметр комірки решета	-200.817	-0.167	-5.586	-6.120
Величина частки	1527.522	0.198	-357.984	-6.870
Частота \times Діаметр комірки решета	0.257	0.0002		-0.001
Частота \times Розмір частки	-2.733	0.005	2.249	
Діаметр комірки решета \times Розмір частки	-88.667		8.083	-2.450
Квадрат частоти	-0.007	-1.479E-05	0.0005	-0.0001
Квадрат діаметру комірки решета	27.100	0.017	0.568	0.732
Квадрат розміру частки	-2347.778	-0.694	593.194	59.250
Ступінь вільності неадекватності	4	5	5	5
Ступінь вільності дослідів	9	8	8	8
Розрахунковий критерій F	91.489	200.500	3.995	8.164
Табличний критерій F_T	8.905	6.757	6.757	6.757
Розрахунковий рівень значущості p	2.860E-04	7.720E-06	7.186E-02	1.666E-02
Показник детермінації r^2	0.997	0.997	0.942	0.929

З табл. 5.10 бачимо, що розрахунковий критерій Фішера F для всіх перевищує табличний F_m , а показники детермінації значень рівнянь регресії з відповідними експериментальними даними перевищують мінімальний (0,75), що свідчить про роботу здатність отриманих математичних моделей.

Залежність продуктивності дозування Q (у кг/год.) консерванту від частоти обертання дозуючого барабану n (у об/хв.), діаметру комірки решета d (мм) та розміру часток консерванту D (у мм) за даними табл. 5.10 проілюстровано на рис. 5. а.

Залежність потужності приводу (у кВт) від досліджуваних факторів графічно проілюстрований на рис. 5.13 б.

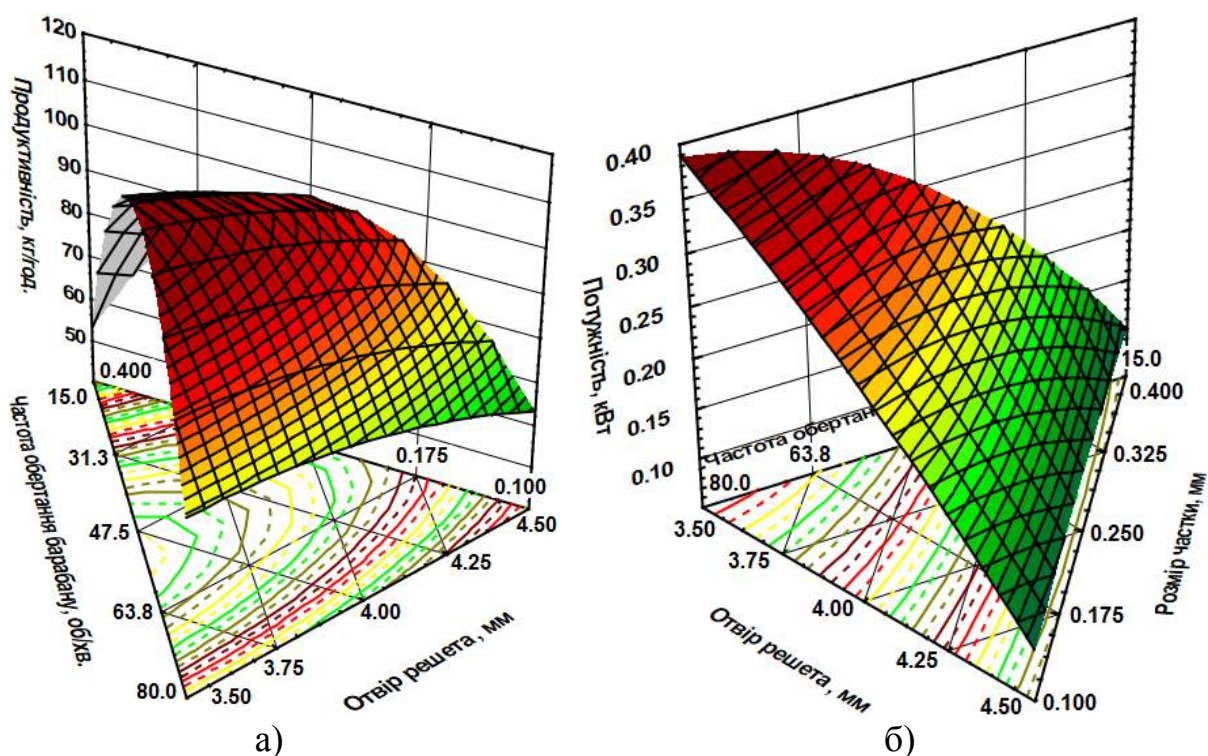


Рис. 5.13 – Поверхня відгуку продуктивності (а) дозатора та потужності (б) його приводу від кута частоти обертання дозуючого барабану, діаметру комірки решета та розміру часток консерванту.

Енергоємність приводу E (у кДж/кг) дозатора консерванту від частоти обертання дозуючого барабану n (у об/хв.), діаметру комірки решета d (мм) та розміру часток консерванту D (у мм) для коефіцієнтів регресії за табл. 5.10 графічна представлені на рис. 5. а. Аналіз поверхонь свідчить про збільшення енергоємності із збільшенням швидкості обертання та зменшенням діаметру отворів дозуючої поверхні барабанного дозатору. Однак розмір матеріалу, що дозується мав оптимальний розмір у 0,25 мм, при якому відбувалося спостереження найменшої енергоємності, тоді як зменшення розміру часток призводило до самовільного витікання консерванту, а збільшення його розміру до збільшення нерівномірності дозування.

Коефіцієнт варіації CV (у %) видачі сипкого консерванту дозатором у залежності від досліджуваних факторів за даними за табл. 5.10 графічно представлені на рис. 5.14 б.

Процес змішування сипкого консерванту з рослинною сировиною знаходився на рівні 93%, тому деталізовані дослідження не проводились [229].

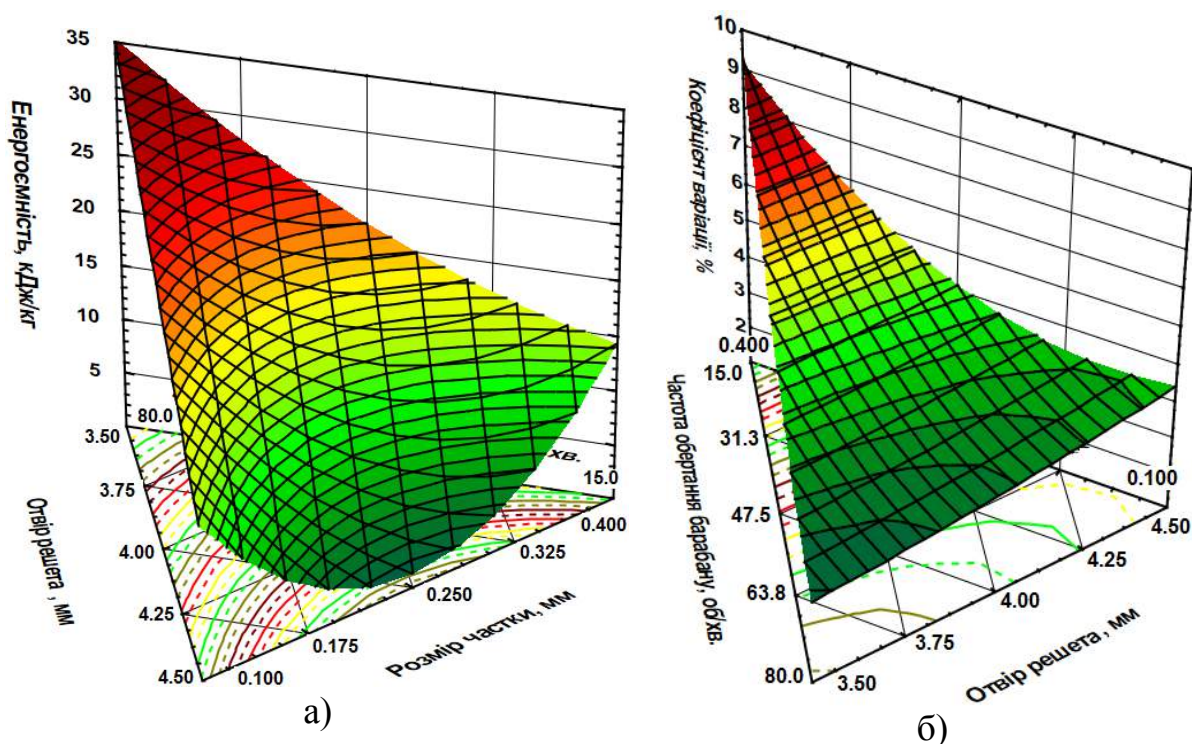


Рис. 5.14 – Поверхня відгуку енергоємності приводу дозатора (а) та коефіцієнта варіації видачі сухого консерванту (б) від кута частоти обертання дозуючого барабану, отвору решета та розміру часток консерванту.

Розглядаючи залежність енергоємності приводу дозатора від досліджуваних факторів, графічно представлену на рис. 5.14, бачимо, що вона мають еліптичну форму, причому мінімальне значення функції відгуку визначається досліджуваними факторами у межах їх варіювання [297-300].

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. Тоді як найменший коефіцієнт варіації у 3,5% спостерігався на обертах дозуючого барабану на рівні 80,3 об/хв.. та із діаметром решета рівним 3,5 мм [301, 302].

5.2.3 Конструктивно-технологічні параметри процесу двогвинтового ущільнення рослинної сировини

5.2.3.1 Проведення дослідження

При проведенні експерименту на двогвинтовий ущільнювач рослинної

сировини встановлюють гвинти з потрібним кроком та діаметром гвинтів та настраюють швидкість обертання гвинтів. Потім виставляються параметри пресу попереднього ущільнення, а саме коефіцієнт висоти завантажувального вікна, швидкість руху поршня, що забезпечить необхідну щільність на вході в двогвинтовий ущільнювач. Далі завантажується бункер пресу попереднього ущільнення рослинної сировини, вмикається електричний мотор-редуктор двогвинтового ущільнювача та електричний мотор-редуктор пресу попереднього ущільнення і виконується робочий прохід. При цьому реєструються енергетичні параметри та продуктивність заповнення полімерного сховища.

Отримані величини характеризують всі етапи процесів завантаження, ущільнення та закладання рослинної сировини в сховище.

Для виключення впливу повітря на процес зберігання - після заповнення сховища необхідно герметично запаяти або щільно запакувати полімерне сховище.

Статистична обробка і оцінка результатів виконувалася згідно підрозділу 4.2.4 Статистична обробка отриманих даних і аналіз математичної моделі процесу. Кількісні і енергетичні характеристики досліджуваного процесу визначалися аналогічно викладеному у підрозділі 5.2.1 Дослідження пресу попереднього ущільнення.

5.2.3.2 Конструктивно-технологічні параметри двогвинтового ущільнювача рослинної сировини

Рівні варіювання незалежних факторів і їх комбінації при проведенні досліджень двогвинтового ущільнювача рослинної сировини, представлені згідно тривірневої матриці повнофакторного плану другого порядку для трьох факторів — частоти обертання гвинта n (1/с), коефіцієнту висоти вікна k , який представляє собою відношення висоти вікна подачі попередньо ущільненої маси до діаметра гвинта і щільності попередньо ущільненої маси ρ (кг/м³), наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 – Рівні варіювання факторів при дослідженнях двогвинтового ущільнювача рослинної сировини

№ п. п.	Рівень фактора					
	кодований			розкодований		
	X_1	X_2	X_3	n	k	ρ
1	-1	-1	-1	25	1.25	320
2	1	-1	-1	125	1.25	320
3	-1	1	-1	25	1.95	320
4	1	1	-1	125	1.95	320
5	-1	-1	1	25	1.25	720
6	1	-1	1	125	1.25	720
7	-1	1	1	25	1.95	720
8	1	1	1	125	1.95	720
9	-1	0	0	25	1.6	520
10	1	0	0	125	1.6	520
11	0	-1	0	75	1.25	520
12	0	1	0	75	1.95	520
13	0	0	-1	75	1.6	320
14	0	0	1	75	1.6	720

Експериментальні дані, досліджень виконані для продуктивності Q , потужності N і енергоємності E , і вихідної щільності R виконані згідно табл. 5.11, наведені в табл. 31 і 32.

Групуючи дані табл. В1 і В2 додатку В за трикратним повторенням для кута нахилу α верхньої стінки пресувальної камери і швидкості подачі V поршня пресу отримаємо табл. 5.12

За даними, представленими в кореляційних таблицях (табл. 3.3), отриманих на основі табл. 3.1 і 32, бачимо статистично значиму ($p < \alpha$) помітну та помірну (за шкалою Чеддока [246]) кореляцію продуктивності, потужності та щільності маси на виході з частотою обертання гвинта як при подачі сінажу, так і вороху, причому, для щільності маси на виході кореляції негативні.

З коефіцієнтом висоти вікна статистично значуще корелюють продуктивність і енергоємність і потужність лише зі щільністю на вході. потужності всі досліджувані показники на рівні від помірного до досить високого.

Таблиця 5.12 – Середні значення показників при дослідженнях
двогвинтового ущільнювача рослинної сировини

№ п. п.	Частоти обертання гвинта n , 1/с	Коефіцієнт висоти вікна k	Щільність на вході ρ , кг/м ³	Продуктивність Q , кг/год.	Потужність W , кВт	Енергоємність E , кДж/кг	Щільність на виході R , кг/м ³
Ущільнення сінажу							
1	25	1.25	320	174	4.19	88.22	808
2	125	1.25	320	527	7.20	54.10	633
3	25	1.95	320	233	4.18	63.70	815
4	125	1.95	320	405	6.17	52.61	678
5	25	1.25	720	199	5.85	113.54	764
6	125	1.25	720	343	8.19	88.85	620
7	25	1.95	720	684	5.39	25.63	855
8	125	1.95	720	591	6.75	33.54	748
9	25	1.6	520	237	4.79	77.51	806
10	125	1.6	520	394	6.98	61.79	666
11	75	1.25	520	137	6.58	149.04	378
12	75	1.95	520	301	5.85	90.57	446
13	75	1.6	320	156	5.79	112.68	417
14	75	1.6	720	253	6.94	111.99	430
Ущільнення вороху							
1	25	1.25	260	200	2.40	46.57	813
2	125	1.25	260	248	7.20	112.17	670
3	25	1.95	260	473	2.80	24.27	700
4	125	1.95	260	337	4.57	51.13	655
5	25	1.25	480	244	2.40	41.00	702
6	125	1.25	480	460	5.00	43.60	776
7	25	1.95	480	162	5.43	139.03	567
8	125	1.95	480	240	5.00	77.03	738
9	25	1.6	370	250	2.47	42.43	711
10	125	1.6	370	307	4.80	55.87	726
11	75	1.25	370	164	3.90	85.77	485
12	75	1.95	370	169	3.90	98.80	409
13	75	1.6	260	191	3.90	83.53	455
14	75	1.6	480	144	4.30	116.03	442

Результати попереднього оцінювання експериментальних даних визначення величин продуктивності, потужності та енергоємності за допомогою критеріїв Стьюдента, розмаху усіченої вибірки та Кохрена при рівні значущості $\alpha = 0.05$ наведено в табл. 3.4.

За даними табл. 3.4 бачимо, що недостовірні значення не виявлено не за параметричною, ні за непараметричною оцінкою.

У результаті обробки розширеної матриці дослідження залежних факторів з доданням парних взаємодій незалежних факторів і їх квадратів, виконаної в розкодованому вигляді на основі табл. 5.12, за допомогою ППП Statistica отримуємо табл. И.1 з коефіцієнтами регресії та їхньою оцінкою для вороху та сінажу.

У колонці b табл. И.1 представлено вільний член і коефіцієнти рівняння регресії для функції відклику другого порядку — математичної моделі досліджуваного процесу. На їхній основі наводяться рівняння у вигляді виді поліномів другого порядку.

На основі табл. И.1–И.4 в табл. 5.13 наводяться коефіцієнти рівнянь регресії у вигляді виді поліномів другого порядку з частково вилученими незначущими коефіцієнтами за умови збереження його адекватності, працездатності.

З табл. 5.13 бачимо, що розрахунковий критерій Фішера F для всіх перевищує табличний F_T , а показники детермінації значень рівнянь регресії з відповідними експериментальними даними перевищують мінімальний (0.75), що свідчить про працездатність отриманих математичних моделей.

Залежність продуктивності Q (у кг/год.) при роботі двогвинтового ущільнювача рослинної сировини на сінажі і воросі у залежності від частоти обертання гвинта n (об/хв.), коефіцієнту висоти вікна k та щільності маси на вході ρ (у кг/м³) за даними табл. 5.13 графічно представлені на рис. 5..

Аналізуючи представлені поверхні відгуку слід відмітити, що підвищення продуктивності Q пов'язано зі збільшенням швидкості обертання гвинтів, максимальної продуктивності ущільнювач досягає при 100 об/хв.

Також слід вказати на значний коефіцієнт вікна, при збільшенні якого відбувається зростання продуктивності для вороху (рис. 5.15 б), однак при дослідженнях люцерни цей фактор виявив себе зворотнім чином.

Тому слід зауважити на впливі фізико-механічних властивостей рослинних матеріалів, що підлягають ущільненню.

Таблиця 5.13 – Коефіцієнти рівнянь регресії та статистична оцінка рівнянь

Показник	Продуктивність Q , кг/год.	Потужність N , кВт	Енергоємність E , кДж/кг	Щільність на виході R , кг/м ³
Сінаж				
Вільний член	1634.059	0.801	0.130	1380.411
Частота обертання		0.074	1.948	-21.881
Коефіцієнт вікна	-1487.907	1.409	-23.164	
Щільність входу	-2.382	0.003	0.467	-0.703
Частота × Вікно	-2.984	-0.014	0.397	0.539
Частота × Щільність входу	-0.006	-1.625E-05	3.554E-04	7.675E-04
Вікно × Щільність входу	1.420	-0.002	-0.209	0.297
Квадрат частоти	0.057	-1.410E-04	-0.019	0.128
Квадрат вікна	378.571		11.607	-32.857
Квадрат щільності входу	0.001	3.188E-06	-1.512E-04	1.956E-04
Ступінь вільності неадекватності	5	5	4	5
Ступінь вільності дослідів	8	8	9	8
Розрахунковий критерій F	14.285	27.572	87.778	801.902
Табличний критерій F_T	6.757	6.757	8.905	6.757
Розрахунковий рівень значущості p	4.742E-03	1.007E-03	3.104E-04	2.440E-07
Показник детермінації r^2	0.960	0.978	0.997	0.999
Ворох				
Вільний член	-438.960	11.425	288.803	1303.739
Частота обертання	-5.494	0.137	4.542	-20.641
Коефіцієнт вікна	603.714	-9.685	-259.374	61.750
Щільність входу	1.199	-0.023	-0.749	-0.130
Частота × Вікно	-2.294	-0.051	-0.738	1.390
Частота × Щільність входу	0.005	-6.163E-05	-0.002	0.005
Вікно × Щільність входу	-1.185	0.010	0.383	-0.082
Квадрат частоти	0.048	0.000	-0.015	0.105
Квадрат вікна	63.571	2.719	41.495	-72.143
Квадрат щільності входу	2.297E-04	1.270E-05	3.151E-04	-1.722E-04
Ступінь вільності неадекватності	4	4	4	4
Ступінь вільності дослідів	9	9	9	9
Розрахунковий критерій F	149.493	54.140	46.834	58411.467
Табличний критерій F_T	8.905	8.905	8.905	8.905
Розрахунковий рівень значущості p	1.080E-04	8.050E-04	1.070E-03	7.164E-10
Показник детермінації r^2	0.997	0.997	0.991	1.000

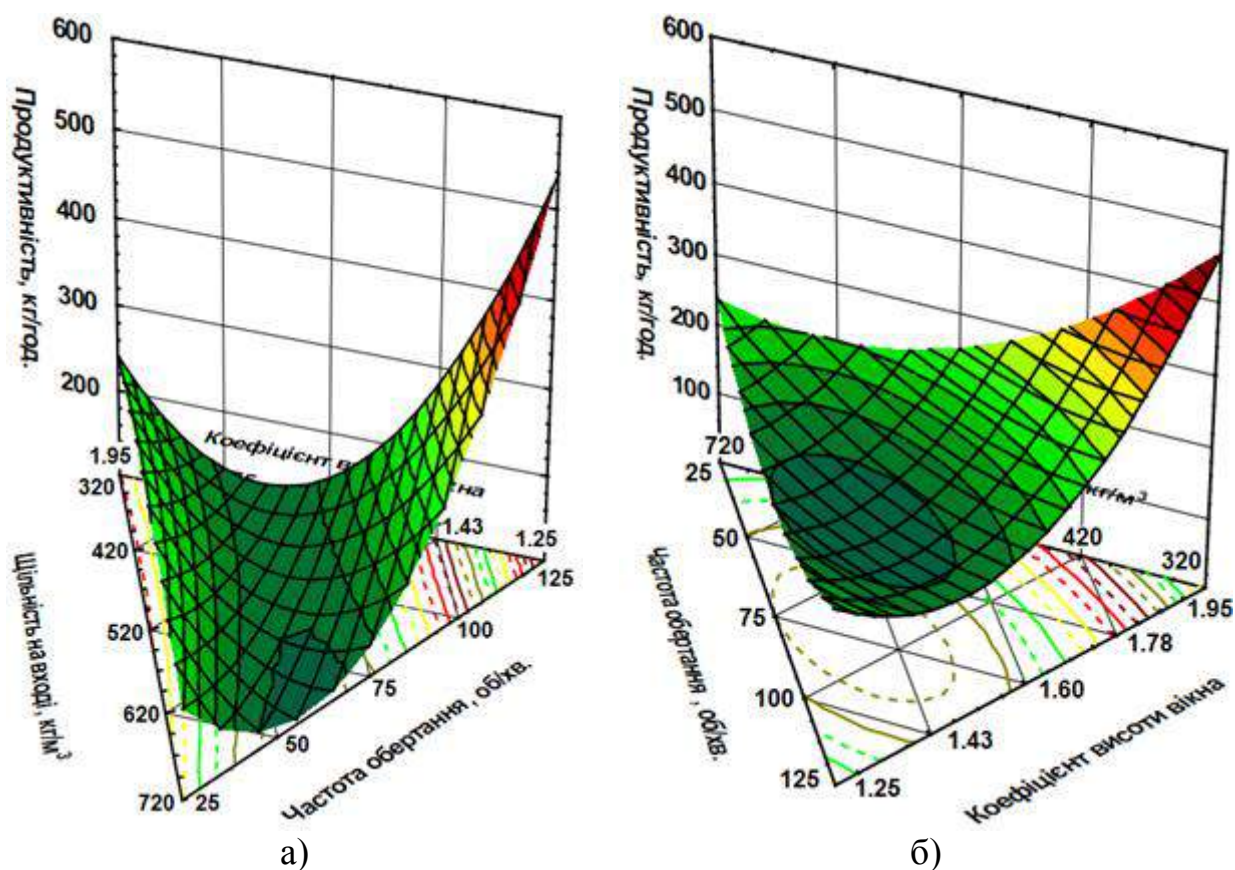


Рис. 5.15 – Поверхні відгуку продуктивності ущільнення рослинної сировини двогвинтовим ущільнювачем від частоти обертання гвинтів, коефіцієнта висоти вікна та початкової щільності: а – для сінажу; б – для вороху.

Також слід відзначити не значний вплив щільності рослинної сировини на вході в двогвинтовий ущільнювач, максимальна продуктивність спостерігається при значенні вхідної щільності для вороху 420 кг/м^3 , для сінажу 620 кг/м^3 , це в свою чергу пов'язано із послідуочим розпушенням, яке відбувається першим гвинтом, та наступним структуруванням рослинної сировини при переході від першого гвинта до другого. Збільшення коефіцієнту висоти вікна призводить до збільшення продуктивності двогвинтового ущільнювача оскільки зі збільшенням коефіцієнту висоти вікна більш збільшується пропускна здатність двогвинтового ущільнювача. Найвища продуктивність досягається при коефіцієнті висоти вікна 1,8 при ущільненні вороху та 1,43 при ущільненні сінажу.

Причому продуктивність двогвинтового ущільнювача на сінажі має значно крутіші параметри ніж на воросі, що в свою чергу пов'язано із біль-

шою вологістю та меншими коефіцієнтами тертя (як внутрішніми так і по поверхням ущільнювачів).

Залежність потужності N (кВт) при роботі двогвинтового ущільнювача рослинної сировини на сінажі і воросі у залежності від частоти обертання гвинта n (об/хв), коефіцієнту висоти вікна k та щільності маси на вході ρ (у $\text{кг}/\text{м}^3$) за даними табл. 5.13 проілюстровані на рис. 5.16.

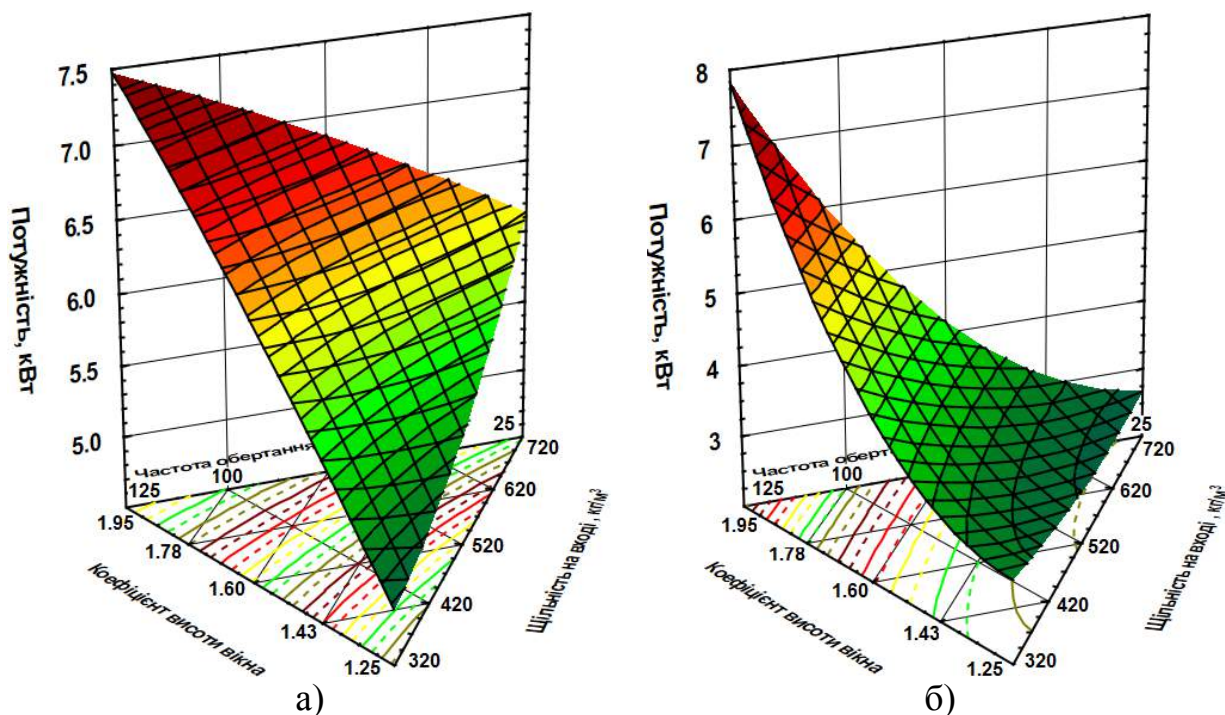


Рис. 5.16 – Поверхня відгуку потужності ущільнення рослинної сировини гвинтом від частоти його обертання, коефіцієнту висоти вікна та початкової щільності: а – для сінажу; б – для вороху.

Аналізуючи представлені поверхні відгуку потужності від частоти обертання, коефіцієнту висоти вікна та щільності на вході слід зазначити збільшення споживання потужності при збільшенні частоти обертання та та коефіцієнту висоти вікна, що пов'язано зі збільшенням продуктивності. Тоді як збільшення щільності на вході впливає на підвищення споживання потужності, але не так значно як попередні показники. При порівнянні споживання потужності при ущільненні сінажу та вороху слід відзначити досить стрімке зростання споживаної потужності при збільшенні коефіцієнту висоти вікна та

частоти обертання на сінажі, тоді як при ущільненні вороху відбувається різке збільшення споживання потужності лише після значень коефіцієнту висоти вікна на рівні 1,43 та частоти обертання 65 об/хв. При ущільненні сінажу значне підвищення споживаної потужності відбувається вже на значеннях коефіцієнту висоти вікна 1,3 та частоти обертання гвинтів 45 – 50 об/хв. Це в першу чергу пов'язано із різною в'язкістю досліджуваних матеріалів. Оскільки в'язкість сінажу значно перевищує в'язкість вороху. Також слід врахувати і різну вологість цих матеріалів [303].

Залежність енергоємності E , (кДж/кг) при роботі двогвинтового ущільнювача рослинної сировини на сінажі і воросі у залежності від частоти обертання гвинта n (1/с), коефіцієнту висоти вікна k та щільності маси на вході ρ (у $\text{кг}/\text{м}^3$) за даними табл. 5.13 проілюстровано на рис. 5.17.

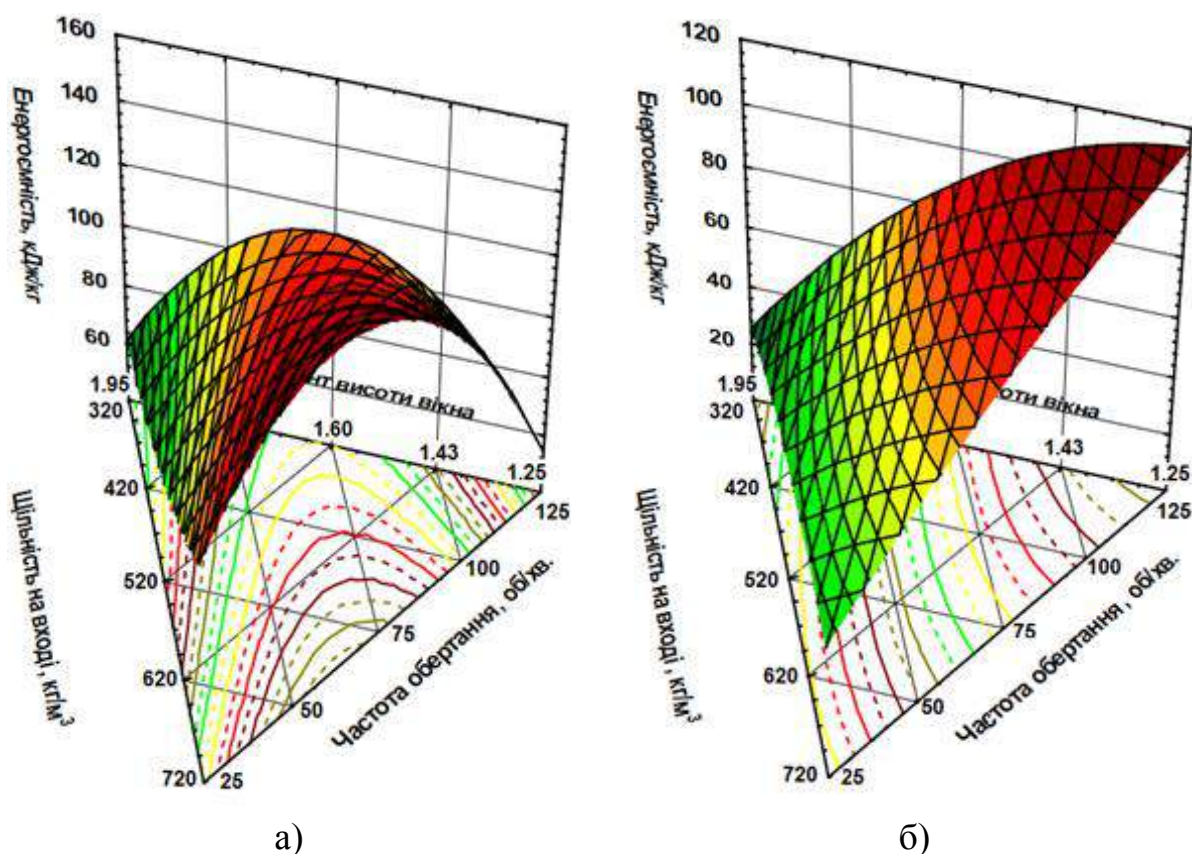


Рис. 5.17 – Поверхня відгуку енергоємності ущільнення рослинної сировини двогвинтовим ущільнювачем від частоти його обертання, коефіцієнта висоти вікна та початкової щільності: а – для сінажу; б – для вороху.

Залежність щільності на виході R ($\text{кг}/\text{м}^3$) при роботі двогвинтового

ущільнювача рослинної сировини на сінажі і воросі у залежності від частоти обертання гвинта n (1/с), коефіцієнту висоти вікна k та щільності маси на вході ρ (у $\text{кг}/\text{м}^3$) за даними табл. 5.13 проілюстровано на рис. 5.18.

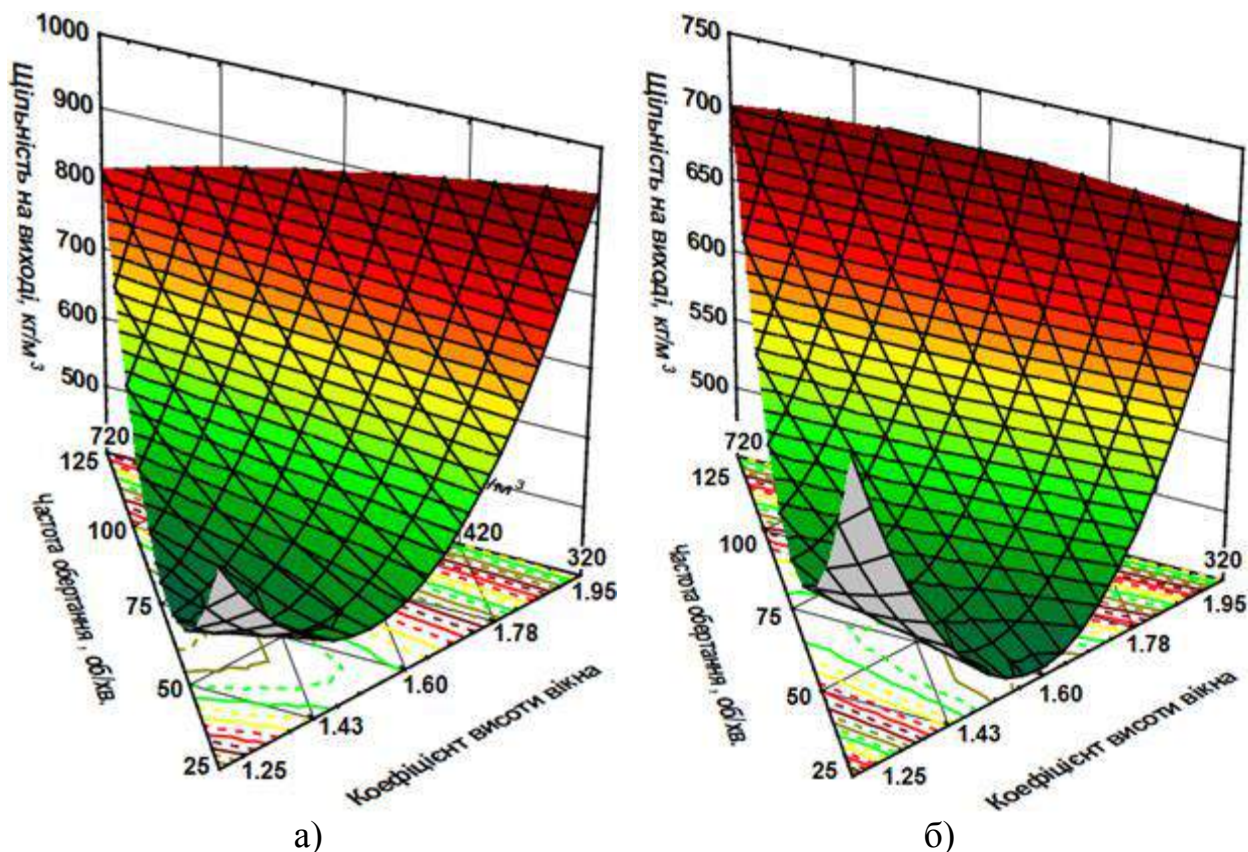


Рис. 5.18 – Поверхня відгуку величини кінцевого ущільнення рослинної сировини двогвинтовим ущільнювачем від частоти його обертання, коефіцієнта висоти вікна та початкової щільності: а – для сінажу; б – для вороху.

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

5.3 Висновки по розділу

1. Після проведення розрахунків згідно отриманих лабораторних досліджень були отримані поверхні відгуку залежностей модулю зсуву G від кута повороту φ та крутного моменту $M_{кр}$ для одного стебла та пучка стебел, які свідчать, що при деформації пучка стебел завжди наявним буде їх взаємне радіальне переміщення, яке супроводжується тертям. При цьому для стебел у пучку вже не буде відбуватися так званого чистого зсуву, а відбуватимуться як зсув, так і згинання. Особливо цей факт буде помітний із віддаленням стебел від центральної вісі пучка. Саме цим і можна пояснити менші значення модулю зсуву для пучка стебел.

Результатом досліджень модулю пружності стали поверхні відгуку згідно залежностей модулю пружності від зміни зусилля і переміщення стебел, які демонструють збільшення модулю пружності зі зменшенням довжини стеблин та збільшенні діаметру пучка стеблин чи стеблини.

В результаті проведення лабораторних досліджень були отримані дані щодо фізико – механічних властивостей рослинної сировини, а саме: наступні значення модуля пружності та коефіцієнту в'язкості: при діаметрі пучка 44 мм $E = 7,198 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 30,586$ Па·с; при діаметрі 48 мм $E = 8,235 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 32,488$ Па·с; при діаметрі 50 мм $E = 9,224 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 35,716$ Па·с.

2. На основі хімічного аналізу рослинної сировини закладеної до полімерних сховищ із запропонованою технологією були отримані наступні дані: вміст сирого жиру (СЖ) склав 2,25% за визначенням по методу Сакслета, вміст сирової клітковини (СК) склав 20,22%, вміст сирого протеїну (СП) склав 14,5%. Представлені дані свідчать про високу якість отриманої рослинної сировини. Також висока якість підтверджена виробничими випробуваннями у господарствах.

3. При дослідженні пресу попереднього ущільнення рослинної сировини одержано статистично значиму позитивну помітну та помірну кореляцію щільності, потужності та енергоємності з кутом нахилу верхньої стінки як

при подачі сінажу, так і вороху. Зі швидкістю подачі сінажу і вороху статистично корелюють всі досліджувані показники на рівні від помірнього до досить високого, причому для енергоємності ця кореляція негативна.

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, 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. Також слід зазначити на більшу ущільнювальну здатність сінажу у порівнянні із ворохом. Це 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.

Поверхні відгуку енергоємності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі визначили оптимальний кут нахилу у $7,5^{\circ}$ при швидкості руху поршня пресу попереднього ущільнення у 2,2 мм/с, зумовлює найменша енергоємність процесу попереднього ущільнення у розмірі близько 9,5 кДж/кг для сінажу та близько 12,3 кДж/кг для вороху. При параметрах мінімальної енергоємності процесу спостерігається прийнятна продуктивність на рівні 650 кг/год. для сінажу та 430 кг/год. для вороху. При цьому вихідна щільність, то вона знаходиться на рівні 550 кг/м³ для сінажу та 380 кг/м³ для вороху.

4. Аналіз поверхонь відгуку продуктивності дозатора та потужності його приводу від кута частоти обертання дозуючого барабану, діаметру комірки решета та розміру часток консерванту свідчить про збільшення енергоємності із збільшенням швидкості обертання та зменшенням діаметру отворів дозуючої поверхні барабанного дозатору. Однак розмір матеріалу, що дозується

мав оптимальний розмір у 0,25 мм, при якому відбувалося спостереження найменшої енергоємності, тоді як зменшення розміру часток призводило до самовільного витікання консерванту, а збільшення його розміру до збільшення нерівномірності дозування.

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. Тоді як найменший коефіцієнт варіації у 3,5% спостерігався на обертах дозуючого барабану на рівні 80,3 об/хв.. та із діаметром решета рівним 3,5 мм.

5. Аналізуючи поверхні відгуку енергоємності ущільнення рослинної сировини від частоти обертання двогвинтового ущільнювача, коефіцієнта висоти вікна та вхідної щільності можна зазначити, що застосовуючи параметри процесу ущільнення для отримання максимальної продуктивності ми зможемо отримати бажану щільність на виході, а саме при ущільненні сінажу 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, тоді як ущільненні вороху на рівні 600 - 700 кг/м³ можна отримати при таких самих налаштуваннях обладнання.

На основі проведених досліджень вважаємо за доцільне застосовувати наступні параметри ущільнювача рослинної сировини: при ущільненні сінажу коефіцієнт висоти вікна на рівні $k = 1,6$, щільність на вході в ущільнювач $\rho = 620$ кг/м³, та частоту обертання гвинтів $n = 100$ об/хв., тоді як для ущільнення вороху коефіцієнт висоти вікна повинен знаходитися на рівні $k = 1,8$, щільність на вході в ущільнювач $\rho = 420$ кг/м³, та частота обертання гвинтів $n = 100$ об/хв.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОРМОЗАГОТІВЛІ НА МОЛОЧНИХ ФЕРМАХ

6.1 Економічне обґрунтування запропонованих варіантів технологій заготівлі сінажу

Традиційні для господарств зимові корми - сіно і силос - відрізняються досить низькою поживністю, що змушує тваринників взимку підвищувати частку концентратів у раціонах ВРХ.

Альтернативою цих кормів є сінаж. Це єдиний вид зимового корму, який максимально зберігає обмінну енергію, протеїн, цукор, каротин і є одночасно досить концентрованим, щоб забезпечувати годування тварин в зимовий час практично зеленою масою, з мінімальними втратами основних поживних речовин. У всьому світі в останні 30 років нарощують виробництво сінажу, і зараз його частка в об'ємних кормах складає більше половини.

Сінаж традиційно "важкий" корм, від заготівлі якого господарства свідомо йдуть, тому що в разі його заготівлі необхідно ретельно, дотримуватися технології.

Одним з найбільш енергоємних і витратних процесів є підбирання та вивезення сінажної маси, тому саме тут існують ризики втрат якості кормів та кошт. У всьому світі найпоширенішими є такі основні технології заготівлі сінажу: за допомогою силосозбирального комбайна і транспортних засобів для перевезення сінажної маси; причепа-підбирача; прес-підбирача й обмотувальної машини разом із відповідною технікою для перевезення і складування рулонів.

З досвіду десятків українських господарств, які використовують сучасні кормозаготівельні комбайни, відомо, що продуктивність комбайна становить близько 750 т/добу. Варто зазначити, що використати продуктивність комбайну можна лише за умови добре організованого процесу перевезення рослинної маси. Продуктивність рулонного преса - підбирача з обмотуваль-

ником становить 150-180 т/добу. Продуктивність даної машини жодним чином не залежить від відстані між полем та силосною ямою. Продуктивність причепа-підбирача прямо залежить від його об'єму та віддаленості поля від місця закладення. Для причепа-підбирача об'ємом 45-50 м³ сінажу продуктивність сягає 20 т/перевезення або 350-500 т/добу за умови, що поле розташоване не більш як за 2 - 3 км від місця закладання.

Головним показником під час вибору методу заготівлі сінажу є економічний ефект, тому обирати той чи інший спосіб заготівлі варто порівнявши витрати і втрати з кількісними та якісними перевагами.

Раціонально підібрана технологія заготівлі сінажу відповідно до умов окремого господарства (відстань від поля до місця закладення на консервацію корму, якість доріг тощо) забезпечує мінімальну собівартість виробництва грубих кормів.

Вважаємо за доцільне визначати ефективність для наступних варіантів технологій заготівлі та закладення рослинної сировини на зберігання:

1 варіант – застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами;

2 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах - рукавах із застосуванням обладнання AG-Bag для їх завантаження та ущільнення;

3 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням причепів – ущільнювачів та отриманням герметичних, ущільнених, полімерних пакунків із структурованою рослинною сировиною та внесеним консервантом;

4 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та отриман-

ням герметичних, ущільнених, полімерних пакунків із структурованою рослинною сировиною і внесеним консервантом;

5 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини прес - підбирачами – обмотувальниками з отриманням рулонів обгорнутих у полімерну плівку;

6 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами [298];

7 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах - рукавах із застосуванням обладнання AG-Bag для їх завантаження та ущільнення;

8 варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та отриманням герметичних, ущільнених, полімерних пакунків із структурованою рослинною сировиною і внесеним консервантом;

9 варіант – застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепу – ущільнювача – підбирача з отриманням герметичних, ущільнених, полімерних пакунків із структурованою рослинною сировиною і внесеним консервантом.

Порівнюємо різні варіанти технологій між собою для 5 різних умов застосування:

- відстань між полем і силосною ямою до 2 км
- відстань між полем і силосною ямою 2-5 км
- відстань між полем і силосною ямою 5-10 км
- відстань між полем і силосною ямою 10-15 км
- відстань між полем і силосною ямою 15-20 км

Для розрахунку прийємо типовий розмір площі під кормовими травами – 250 га з середньою врожайністю прив'язаної маси 10 т/га. Кількість укосів: 2,5 (укоси, як правило, нерівномірні, третій укіс менший за попередні). Для того, щоб вчасно заготовити сінаж на такій площі, щодня потрібно заготовляти 350 т сінажу. Відповідно підбирається необхідна кількість техніки для заготівлі сінажу (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Кількість необхідної техніки для заготівлі сінажу, од.

Вид техніки	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2 - 5 км	5 - 10 км	10 - 15 км	15 - 20 км
Комбайн	1	1	1	1	1
Вантажівки	2	2,5	3	4	5
Трактор з ПУ	4	4	4	4	4
Трактор з рулонним пресом	2	2	2	2	2
Трактор з причепом-підбирачем	1	1	2	2	2
Трактор з ПУП	2	2	2	2	2

Ряд практичних замірів для різних технологій дозволяють встановити витрати пального (табл. 6.2), що дозволяє визначити вартість витраченого пального для заготівлі сінажу (середня ціна дизпалива - 19,7 грн./кг).

У відповідності до кількості задіяних одиниць техніки можуть бути визначені також витрати на персонал (середня заробітна плата 2500-3000 грн.) (табл. 6.3).

Таблиця 6.2 – Витрати пального при заготівлі сінажу, л/т

Вид техніки або процес	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Комбайн	1	1	1	1	1
Вантажівки	0,5	0,875	1,8	3,4	4,75
Трактори 200-250 к.с. з ПУ	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Трактор 120 к.с. з рулонним пресом з обмотником	1	1	1	1	1
Трактори 200-250 к.с. з причепом-підбирачем	0,7	1,15	4,6	5	5,4
Трактори 200-250 к.с. з ПУП	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Трамбування у сінажній траншеї - всього, л	600	600	600	600	600
Закладання у рукав - всього, л	275	275	275	275	275
Завантаження та транспортування рулонів (мішків) - всього, л	625	1458	3125	5208	7292

Таблиця 6.3 – Витрати на персонал при заготівлі сінажу, грн.

Вид техніки	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Комбайн+вантажівки	5400	6300	7200	9000	10800
Трактори 200-250 к.с. з ПУ	9000	9000	9000	9000	9000
Трактори 120 к.с. з рулонним пресом - підбирачем із обмотувальником	14400	14400	14400	14400	14400
Трактор з причепом-підбирачем	7200	7200	14400	14400	14400
Трактори 200-250 к.с. з ПУП	14400	14400	14400	14400	14400

Розрахунок величини амортизаційних відрахувань (10%) та вартості ремонту (8%) здійснюється на основі даних про річну вартість техніки (табл. 6.4). Техніка, взята для розрахунку – виробництва Західної Європи, курс валюти на момент розрахунку прийнятий 25 грн./Євро.

Таблиця 6.4 – Річна вартість техніки для заготівлі сінажу, грн.

Вид техніки	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Трактор 200-250 к.с. (7% річної вартості)	33542	33542	67083	67083	67083
Причеп-підбирач (80% від річної вартості)	250000	250000	500000	500000	500000
Комбайн (33% від річ- ної вартості)	257813	257813	257813	257813	257813
Вантажівки (8% від рі- чної вартості)	14875	18594	22313	29750	37188
AG BAG (25% від річ- ної вартості)	25000	25000	25000	25000	25000
ПУ моб. (80% від річ- ної вартості)	24000	24000	24000	24000	24000
ПУ стац. (80% від річ- ної вартості)	24000	24000	24000	24000	24000
Трактор 120 к.с. (8% річної вартості)	26667	26667	26667	26667	26667
Рулонний прес з обмо- тувальником (75% річної вартості)	135000	135000	135000	135000	135000
ПУП (80% від річної вартості)	28000	28000	28000	28000	28000
Фронтальний наван- тажувач (10% річної вартості)	800	800	800	800	800
Причеп для рулонів (50% річної вартості)	9000	9000	9000	9000	9000

Необхідно зауважити, що при розрахунку вартості ремонту також необхідно врахувати, що використання силосних комбайнів при заготівлі сінажу збільшують витрати на ремонт на 30-40%.

Для обґрунтування витрат на виробництво сінажу використовується однакова питома вартість вихідної сінажної маси, яка складається з витрат на закладку травостою багаторічних трав (у нашому прикладі люцерна), розподілених на 5 років використання і щорічного весняного уходу з урахуванням внесення фосфорних і калійних добрив (Р 30, К 100). Крім того, розглянуті варіанти технологій передбачають використання аналогічної техніки на етапі скошування, плющення, ворущіння та згрібання (табл. 6.5). Таким чином, питома вартість прив'язаної сінажної маси до етапу підбирання і подрібнення становить 619,1 грн./га.

Таблиця 6.5 – Питомі витрати на сінажування, що витрачаються до стадії підбирання і подрібнення рослинної сировини, грн./га.

Вартість вихідної сінажної маси	Скошування трав з плющенням	Ворущіння	Згрібання	Вартість прив'язаної сінажної маси
374	144,9	52,2	48,0	619,1

Організація злагодженої роботи всього кормозаготівельного ланцюга – фактор, який прямо впливає на кількість і якість сінажу.

Втрати кількості сінажу відбуваються майже на всіх етапах: у полі при затиранні процесу сушіння; при недостатньому ущільненні сінажу в траншеї, з-за неповної герметизації; втрати при вивантаженні і роздачі корму. Сумарні втрати іноді становлять більше 20-30% від заготовленого корму.

Результати розрахунку питомих витрат на виробництво сінажу та його собівартості при використанні різних технологій заготівлі представлені в табл. 6.6-6.14.

Таблиця 6.6 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 1), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	786,7	971,5	1427,4	2216,1	2881,5
Персонал	21,6	25,2	28,8	36	43,2
Амортизаційні відрахування	1090,8	1105,6	1120,5	1150,3	1180
Відрахування на ремонт техніки	1161,4	1173,3	1185,2	1209	1232,8
Плівка для накриття трапшеї	120	120	120	120	120
Витрати на заготівлю - всього	3180,5	3395,6	3881,9	4731,4	5457,5
Вартість прив'язаної сінажної маси, грн./га	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	570	602	675	803	911
Всього виробничих витрат	4369,5	4616,9	5176,2	6153,1	6988,1
на 1 т сінажної маси, грн.	436,95	461,69	517,62	615,31	698,81
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	30	30	30	30	30
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	624,22	659,56	739,45	879,01	998,30
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	2,15	2,27	2,55	3,03	3,44

На величину собівартості сінажної маси при першому варіанті технології заготівлі сінажу суттєво впливатиме відстань до місця закладання, яка зумовлює використання додаткового вантажного транспорту та, відповідно, додаткових витрат пального, амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт транспорту.

Також підбирання прив'язаної сінажної маси комбайном збільшує витрати на його ремонт на 30-40%. При цьому висока продуктивність комбайну

дозволяє зекономити на оплаті праці за умови, що відстань до місця закладання не перевищуватиме 10 км. Однак використання комбайну, вантажівок та сінажної траншеї передбачає значні втрати сінажної маси (більше 30%) та її поживних речовин (до 0,29 к.од.). Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця закладання, коливатиметься від 624,22 до 998,30 грн. за тону, а вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 2,15 до 3,44 грн. (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 2), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	761	945,8	1401,7	2190,4	2855,8
Персонал	28,8	32,4	36	43,2	50,4
Амортизаційні відрахування	1297,4	1312,3	1327,2	1356,9	1386,7
Відрахування на ремонт техніки	1326,7	1338,6	1350,5	1374,3	1398,1
Рукав (25 шт. місткістю 250 т)	750	750	750	750	750
Витрати на заготівлю - всього	4163,9	4379,1	4865,4	5714,8	6441
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	717	750	823	950	1059
Всього витрат,	5500,5	5747,9	6307,2	7284,0	8119,1
на 1 т сінажної маси, грн.	550,05	574,79	630,72	728,40	811,91
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	20	20	20	20	20
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	687,56	718,49	788,40	910,50	1014,89
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,91	2,00	2,19	2,53	2,82

Збільшення величини собівартості сінажної маси при другому варіанті технології заготівлі сінажу зумовлюється тими ж причинами, що й при першому варіанті. Крім того, до витрат на заготівлю додається висока вартість рукава для сінажування за технологією AG BAG та відрахування на амортизацію та ремонт високовартісного обладнання. При цьому, використання комбайну, вантажівок та технології AG BAG замість сінажної траншеї зменшує втрати сінажної маси до 20% та збільшує поживність корму до 0,36 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця закладання, коливатиметься від 687,56 до 1014,89 грн. за тону, але вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,91 до 2,82 грн. (табл. 6.7).

Таблиця 6.8 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 3), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	1860,8	1927,4	2060,8	2227,4	2394,1
Персонал	36	36	36	36	36
Амортизаційні відрахування	2513,8	2513,8	2513,8	2513,8	2513,8
Відрахування на ремонт техніки	2258,5	2258,5	2258,5	2258,5	2258,5
Мішки (6250 шт. місткістю 1 м ³)	540	540	540	540	540
Витрати на заготівлю - всього	7209,1	7275,7	7409,1	7575,7	7742,4
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	1174	1184	1204	1229	1254
Всього витрат, на 1 т сінажної маси, грн.	9002,4	9079,0	9232,4	9424,0	9615,7
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	10	10	10	10	10
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	1000,27	1008,78	1025,83	1047,11	1068,41
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	2,50	2,52	2,56	2,62	2,67

Таблиця 6.9 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 4), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	739,4	924,2	1380,1	2168,8	2834,2
Персонал	21,6	25,2	28,8	36	43,2
Амортизаційні відрахування	1186,8	1201,6	1216,5	1246,3	1276
Відрахування на ремонт техніки	1238,2	1250,1	1262	1285,8	1309,6
Мішки 1 м3 (6250)	540	540	540	540	540
Електроенергія	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
Витрати на заготівлю - всього	3788,5	4003,6	4489,9	5339,4	6065,5
Вартість прив'яленої сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	661,1	693,4	766,4	893,8	1002,7
Всього витрат, на 1 т сінажної маси, грн.	5068,7	5316,1	5875,4	6852,3	7687,3
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням витрат, грн.	579,28	607,55	671,47	783,12	878,55
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,52	1,60	1,77	2,06	2,31

На величину собівартості сінажної маси при третьому варіанті технології заготівлі сінажу майже не впливатиме відстань до місця закладання, яка буде лише дещо збільшуватися при транспортуванні мішків з сінажем на більші відстані. При цьому висока продуктивність комбайну для безперебійної його роботи вимагатиме використання 4 причепів-ущільнювачів, що великою мірою впливає на величину витрат на паливо, персонал, амортизація та ремонт. Не дивлячись на те, що використання комбайну та причепів-

ущільнювачів зменшить втрати сінажної маси до 10% та збільшить поживність корму до 0,4 к.од., собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат коливатиметься від 1000,27 до 1068,41 грн. за тону, але вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 2,50 до 2,67 грн. (табл. 6.8).

Збільшення величини собівартості сінажної маси при четвертому варіанті технології заготівлі сінажу зумовлюється тими ж причинами, що й при першому варіанті. Крім того, до витрат на заготівлю додається вартість електроенергії, мішків для сінажування багаторазового використання та відрахування на амортизацію та ремонт стаціонарного ущільнювача, який коштуватиме значно дешевше, порівняно з обладнанням AG BAG.

При цьому, використання комбайну, вантажівок та стаціонарного ущільнювача замість сінажної траншеї зменшує втрати сінажної маси до 12,5% та збільшує поживність корму до 0,38 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця закладання, коливатиметься від 579,28 до 878,55 грн. за тону, але вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,52 до 2,31 грн. (табл. 6.9).

На величину собівартості сінажної маси при п'ятому варіанті технології заготівлі сінажу майже не впливатиме відстань до місця закладання, яка буде лише дещо збільшуватися при транспортуванні мішків з сінажем на більші відстані. Однак, вищенаведений щоденний обсяг заготівлі сінажу вимагає використання 2 рулонних пресів з обмотником. Отже, до витрат на заготівлю додається висока вартість плівка та сітки для обмотування та відрахування на амортизацію та ремонт високовартісного обладнання. При цьому, використання рулонного пресу з обмотником обмежує втрати сінажної маси на рівні 5% та забезпечує поживність корму до 0,42 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат коливатиметься від 626,11 до 690,57 грн. за тону, але вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,49 до 1,64 грн. (табл. 6.10)

Таблиця 6.10 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 5), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	543	609,6	743	909,6	1076,3
Персонал	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
Амортизаційні відрахування	1371,8	1371,8	1371,8	1371,8	1371,8
Відрахування на ремонт техніки	1097,4	1097,4	1097,4	1097,4	1097,4
Плівка (125 рулонів)	1250	1250	1250	1250	1250
Сітка (15 рулонів)	232,5	232,5	232,5	232,5	232,5
Витрати на заготівлю - всього	4552,3	4618,9	4752,3	4918,9	5085,6
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	776	786	806	831	856
Всього витрат,	5947,1	6023,7	6177,1	6368,7	6560,4
на 1 т сінажної маси, грн.	594,71	602,37	617,71	636,87	656,04
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	5	5	5	5	5
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	626,01	634,07	650,22	670,39	690,57
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,49	1,51	1,55	1,60	1,64

На величину собівартості сінажної маси при шостому варіанті технології заготівлі сінажу у великій мірі впливатиме відстань до місця закладання, яка зумовлює використання додаткового причепа-підбирача при відстані від 5 км та, відповідно, додаткових витрат на паливо, персонал, амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт високовартісного обладнання. Використання причепа-підбирача та сінажної траншеї передбачає втрати сінажної маси на рівні 15% та поживність корму до 0,33 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця за-

кладання, коливатиметься від 433,17 до 1026,71 грн. за тону, а вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,31 до 3,11 грн. (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 6), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	392,3	614,2	2314,7	2511,8	2709
Персонал	28,8	28,8	57,6	57,6	57,6
Амотизаційні відрахування	1134,2	1134,2	2268,3	2268,3	2268,3
Відрахування на ремонт техніки	907,3	907,3	1814,7	1814,7	1814,7
Плівка для накриття траншеї	120	120	120	120	120
Витрати на заготівлю - всього	2582,6	2804,5	6575,3	6772,4	6969,6
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	480,3	513,5	1079,2	1108,7	1138,3
Всього витрат,	3682,0	3937,1	8273,6	8500,2	8727,0
на 1 т сінажної маси, грн.	368,20	393,71	827,36	850,02	872,70
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	15	15	15	15	15
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням витрат, грн.	433,17	463,19	973,36	1000,03	1026,71
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,31	1,40	2,95	3,03	3,11

Збільшення величини собівартості сінажної маси при сьомому варіанті технології заготівлі сінажу зумовлюється тими ж причинами, що й при шостому варіанті. Крім того, до витрат на заготівлю додається висока вартість рукава для сінажування за технологією AG BAG та відрахування на амортизацію та ремонт високовартісного обладнання. При цьому, причепа-підбирача та технології AG BAG замість сінажної траншеї зменшує втрати

сінажної маси до 7% та збільшує поживність корму до 0,4 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця закладання, коливатиметься від 517,52 до 1060,0 грн. за тону, а вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,29 до 2,65 грн. (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 7), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	366,6	588,4	2288,9	2486,1	2683,3
Персонал	36	36	64,8	64,8	64,8
Амотизаційні відрахування	1340,8	1340,8	2475	2475	2475
Відрахування на ремонт техніки	1072,7	1072,7	1980	1980	1980
Рукав (25 шт. місткістю 250 т)	750	750	750	750	750
Витрати на заготівлю - всього	3566,1	3787,9	7558,7	7755,9	7953,1
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	627,8	661,1	1226,7	1256,3	1285,8
Всього витрат, на 1 т сінажної маси, грн.	4813,0	5068,1	9404,5	9631,3	9858,0
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	7	7	7	7	7
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	517,52	544,95	1011,23	1035,62	1060,00
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,29	1,36	2,53	2,59	2,65

Таблиця 6.13 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 8), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	345	566,8	2267,3	2464,5	2661,7
Персонал	28,8	28,8	57,6	57,6	57,6
Амортизаційні відрахування	1230,2	1230,2	2364,3	2364,3	2364,3
Відрахування на ремонт техніки	984,1	984,1	1891,5	1891,5	1891,5
Мішки 1 м ³ (6250)	540	540	540	540	540
Електроенергія	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
Витрати на заготівлю - всього	3190,6	3412,4	7183,2	7380,4	7577,6
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	571,5	604,7	1170,3	1199,9	1229,5
Всього витрат,	4381,2	4636,2	8972,6	9199,4	9426,2
на 1 т сінажної маси, грн.	438,12	463,62	897,26	919,94	942,62
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	5	5	5	5	5
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	461,17	488,02	944,49	968,36	992,23
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	1,05	1,11	2,15	2,20	2,26

Збільшення величини собівартості сінажної маси при восьмому варіанті технології заготівлі сінажу зумовлюється тими ж причинами, що й при сьомому варіанті. Крім того, до витрат на заготівлю додається вартість електроенергії, мішків для сінажування багаторазового використання та відрахування на амортизацію та ремонт стаціонарного ущільнювача, який коштуватиме значно дешевше, порівняно з обладнанням AG BAG.

При цьому, використання причепа-підбирача та стаціонарного ущільнювача замість сінажної траншеї зменшує втрати сінажної маси до 5% та збільшує поживність корму до 0,44 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової

сінажної маси з урахуванням втрат, залежно від відстані до місця закладання, коливатиметься від 416,17 до 992,23 грн. за тону, а вартість 1 кг кормових одиниць знаходитиметься в межах від 1,05 до 2,26 грн. (табл. 6.13).

Таблиця 6.14 - Питомі витрати на виробництво сінажу (варіант 9), грн./га

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Паливо	750	816,7	950	1116,7	1283,3
Персонал	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
Амортизаційні відрахування	638,2	638,2	638,2	638,2	638,2
Відрахування на ремонт техніки	510,6	510,6	510,6	510,6	510,6
Мішки 1 м ³ (6250)	540	540	540	540	540
Витрати на заготівлю - всього	2496,4	2563,1	2696,4	2863,1	3029,7
Вартість прив'язаної сінажної маси	619,1	619,1	619,1	619,1	619,1
Загальногосподарські та інші витрати	467,3	477,3	497,3	522,3	547,3
Всього витрат, на 1 т сінажної маси, грн.	3582,8	3659,5	3812,8	4004,5	4196,1
Середні втрати сінажної маси (у полі+зберігання +годування), %	5	5	5	5	5
Собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат, грн.	377,14	385,21	401,35	421,53	441,70
Вміст кормових одиниць в 1 кг сінажу, кг	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.	0,86	0,88	0,91	0,96	1,00

На величину собівартості сінажної маси при дев'ятому варіанті технології заготівлі сінажу майже не впливатиме відстань до місця закладання, яка буде лише дещо збільшуватися при транспортуванні мішків з сінажем на більші відстані. Однак, вищенаведений щоденний обсяг заготівлі сінажу вимагає використання 2 причепів-ущільнювачів-підбирачів, що, відповідно, подвоїть витрати та паливо, персонал, амортизаційні відрахування та ремонт те-

хніки, вартість якої втім є значно нижчою порівняно з іншими варіантами технологій.

Таблиця 6.15 - Порівняння собівартості сінажної маси та вартості кормової одиниці для різних варіантів технології заготівлі сінажу

Показники	Відстань від поля до місця закладання сінажу				
	до 2 км	2-5 км	5-10 км	10-15 км	15-20 км
Собівартість 1 т готової сінажної маси, грн.					
варіант 1	624,22	659,56	739,45	879,01	998,30
варіант 2	687,56	718,49	788,40	910,50	1014,89
варіант 3	1000,27	1008,78	1025,83	1047,11	1068,41
варіант 4	579,28	607,55	671,47	783,12	878,55
варіант 5	626,01	634,07	650,22	670,39	690,57
варіант 6	433,17	463,19	973,36	1000,03	1026,71
варіант 7	517,52	544,95	1011,23	1035,62	1060,00
варіант 8	461,17	488,02	944,49	968,36	992,23
варіант 9	377,14	385,21	401,35	421,53	441,70
Вартість 1 кг кормових одиниць, грн.					
варіант 1	2,15	2,27	2,55	3,03	3,44
варіант 2	1,91	2,00	2,19	2,53	2,82
варіант 3	2,50	2,52	2,56	2,62	2,67
варіант 4	1,52	1,60	1,77	2,06	2,31
варіант 5	1,49	1,51	1,55	1,60	1,64
варіант 6	1,31	1,40	2,95	3,03	3,11
варіант 7	1,29	1,36	2,53	2,59	2,65
варіант 8	1,05	1,11	2,15	2,20	2,26
варіант 9	0,86	0,88	0,91	0,96	1,00

Також до витрат на заготівлю додається вартість мішків для сінажування багаторазового використання. При цьому, використання причепа-ущільнювача-підбирача зменшує втрати сінажної маси до 5% та збільшує поживність корму до 0,44 к.од. Таким чином, собівартість 1 т готової сінажної маси з урахуванням втрат коливатиметься від 377,14 до 441,70 грн., а вартість 1 кг кормових одиниць знаходиться в межах від 0,86 до 1,0 грн. (табл. 6.15).

Аналіз розглянутих технологій сінажування дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективною є технологія варіанту 9, яка забезпечує найнижчу собівартість 1 т сінажної маси, незалежно від відстані до місця закладання сінажу. Також ця технологія гарантує найменшу вартість кормової одиниці (табл. 6.15).

6.2 Оцінка функціонування біотехнічної системи при використанні сінажно – концентратних раціонів із запропонованими варіантами технологічних ліній

Вдосконалення кормової бази проводиться у декількох напрямках, а саме через вдосконалення технічного та технологічного забезпечення виконання операцій збирання, заготівлі, зберігання та приготування кормів, за принципами енергозбереження, зменшення втрат кормів, зменшення втрат поживних речовин під час виконання технологічних операцій. Також слід зауважити, що оцінка кормової цінності може виконуватися за різними методиками, такими як вміст сухої речовини, вміст обмінної енергії, вміст основних поживних речовин та за методикою оцінки вмісту чистої енергії лактації. Для отримання високих надоїв дуже важливо, щоб тварина отримала всі необхідні складові для життєдіяльності, розвитку плоду та продукування молока.

Для збереження продуктивності тварин дуже важливою умовою при організації годівлі є нормування раціону. Тварини чутливі як до нестачі, так і до надлишку енергії та інших елементів живлення, їх співвідношення в раці-

оні і умов використання, а тому дуже швидко реагують на це істотними змінами обмінних процесів і зниженням продуктивності. Дуже важливим при вирішенні задачі складання оптимізованого раціону, який би повністю забезпечив тварину поживними речовинами, є створення такої моделі, що дозволила б максимально точно підібрати компоненти раціону, при чому не витрачаючи зайвих коштів.

На якість сінажу на стадії підбирання і подрібнення рослинної маси впливають наступні фактори:

- чистота роботи підбирача (не заносить бруд у рослинну масу);
- чистий підбір (на полі немає залишків рослинної маси);
- якість та довжина подрібнення (відповідність потребам жуйних тварин, якісне ущільнення та бродіння сінажу);
- втрати при завантаженні у транспортний засіб, який перевозить рослинну масу до траншеї (збереження поживних речовин, білку);
- оперативність роботи та відповідна продуктивність (вчасне та якісне консервування корму).

Основна доля протеїну міститься у в легких частинах бобових рослин (листі і суцвітті), тому принципово важливим є збереження листової маси в кормі. При цьому втрати листової маси при вантаженні і транспортуванні за допомогою комбайна і вантажівок досягають 10-20%.

При заготівлі сінажу традиційним способом, у траншеї, його поживність в середньому становить 0,29 к.од., тоді як, наприклад, при заготівлі в рулоні - 0,42 к. од. Основними причинами втрати якості заготовленого корму є:

- небажане бродіння і псування;
- неякісне подрібнення зібраної маси, недотримання терміну закладки її у сховище;
- неякісне трамбування;
- крайовий ефект;
- вторинна ферментація;

- силосний сік;
- молочнокисле бродіння.

Дотримання правил виїмки сінажу дуже важливе для запобігання самозігрівання і зниженню якості корму. Так, наприклад, підвищення температури в процесі дозрівання і зберігання сінажу на кожен градус понад 38° (межа самозігрівання) призводить до зниження перетравності протеїну на 2 %.

Сучасна комплексна оцінка поживності враховує вміст окремих елементів живлення та їх взаємний вплив та проводиться відповідно до прийнятих норм. У деталізованих нормах годівлі оцінюють енергетичну поживність за вмістом обмінної енергії, протеїнову - за сиримом, перетравним протеїном, вмістом амінокислот, вуглеводну - за кількістю крохмалю та безазотистих екстрактивних речовин (БЕР), ліпідну - за вмістом жиру, мінеральну - за вмістом макро- і мікроелементів, вітамінну - за вмістом каротину та вітамінів. Обов'язковий нормований показник - суха речовина [273].

Надходження фізіологічно корисної енергії з кормом визначається кількістю споживаної сухої речовини, концентрацією обмінної енергії в сухій речовині і рівнем годівлі. Надлишок сухої речовини може призводити до неповного поїдання кормів, зниження поживної цінності раціонів і зменшення надоїв. При низькому її рівні в раціоні досить важко створити необхідну концентрацію енергії і поживних речовин.

Особливістю харчування корів є дуже швидке збільшення потреби в протеїні, що не покривається тільки мікробним білком. Тривалий дефіцит протеїну в раціоні спричиняє значне зниження не тільки надоїв, але й зниження вмісту жиру і білка в молоці. Надлишок протеїну в раціонах не засвоюється організмом, що веде до здороження молока. Оптимальне співвідношення цукрів та перетравного протеїну в зимовий період в раціонах лактуючих корів змінюється в межах 0,8-1,0:1,2.

Дефіцит клітковини в раціонах корів призводить до зниження жирності молока, а її надлишок - до зниження енергетичної поживності раціонів. При

запланованому рівні годівлі загальна добова кількість сирогої клітковини не повинна перевищувати фізіологічну норму – 4140 г.

За узагальненими даними потреба в жирі у корів становить 40-65% від жиру, що виділяється з молоком добового надою. Оптимальний вміст сирого жиру в раціонах корів має становити 3 - 4% від сухої речовини.

Головні складові безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) - це крохмаль і цукри. Вони є легко перетравними вуглеводами та служать джерелом енергії в організмі. Крохмаль та цукри сприяють нормальному травленню, а також життєдіяльності мікроорганізмів рубця, що призводить до кращого засвоєння всіх кормів і, як наслідок цього, до збільшення удою. Збільшення БЕР вище рівня 45-50% і нижче 25-35% від сухої речовини раціону знижує продуктивність корів.

За вищевказаних особливостей та потреб визначимо оптимальний добовий кормовий раціон для дійних корів масою 500 кг з добовим надоєм 18-20 кг та жирністю 4% як для використання найефективнішого дев'ятого варіанту технології заготівлі сінажу, так й для кожного іншого з розглянутих варіантів.

Для забезпечення такої продуктивності корів необхідно, щоб в раціоні містилася певна кількість необхідних поживних речовин (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 - Норми годівлі дійних корів живою масою 500 кг з добовим надоєм 18-20 кг

Межі норми	Суша речовина, кг	Кормові одиниці	Сирий протеїн, г	Сира клітковина, г	БЕР, г	Сирий жир, г	Каротин, мг
Min	16,5	13,6	2090	4120	5775	435	610
Max	18		2500	4140	8100	510	-

До раціону і відповідно до системи змінних включається сіно лучне (x_1), сінаж багаторічних трав (x_2), силос бобово-злаковий різнотравний (x_3), кормовий гарбуз (x_4), концентровані корми (x_5) та солома (x_6), поживність та вартість яких, за умови застосування варіанту 9, надана в таблиці 6.17.

Таблиця 6.17 - Поживність та вартість 1 кг кормів (варіант 9)

Поживні речовини	Сіно лучне	Сінаж багаторічних трав	Силос бобово-злаковий	Кормовий гарбуз	Концентровані корми	Солома
Суша речовина, кг	0,83	0,48	0,31	0,083	0,87	0,84
Кормові одиниці, кг	0,55	0,44	0,24	0,1	1,22	0,29
Сирий протеїн, г	93	78	40	13	130	37
Сира клітковина, г	233	111	81	11	65	358
БЕР, г	388	148	150	48	573	371
Сирий жир, г	18	15	10	3	20	13
Каротин, мг	19	26	15	20	-	-
Вартість 1 кг, грн.	0,91	0,38	0,52	0,94	1,2	0,10

В раціоні повинні враховуватися обмеження щодо використання певних видів кормів. Так, добова норма сіна високої якості в розрахунку на 100 кг живої маси тварини, повинна бути не менше 1 кг, силосу або сінажу - не більше 4 кг. Кормові гарбузи бажано давати корові в кількості не більше 20 кг на добу. Норма включення комбікорму в раціон корів, виходячи з нормативу 150-200 г на 1 літр молока, коливається в межах 2,7-4 кг на голову на добу. Загальний обсяг згодованого корму повинен складати не менше 45 кг.

Таким чином, система обмежень матиме вигляд:

IX. За кількістю сухої речовини

сухої речовини не менше:

$$0,83x_1 + 0,48x_2 + 0,31x_3 + 0,083x_4 + 0,87x_5 + 0,84x_6 \geq 16,5$$

сухої речовини не більше:

$$0,83x_1 + 0,48x_2 + 0,31x_3 + 0,083x_4 + 0,87x_5 + 0,84x_6 \leq 18$$

X. За вмістом кормових одиниць

кормових одиниць не менше:

$$0,55x_1 + 0,44x_2 + 0,24x_3 + 0,1x_4 + 1,22x_5 + 0,29x_6 \geq 13,6$$

XI. За протеїновою поживністю

сирого протеїну не менше:

$$93x_1 + 78x_2 + 40x_3 + 13x_4 + 130x_5 + 37x_6 \geq 2090$$

сирого протеїну не більше:

$$93x_1+78x_2+40x_3+13x_4+130x_5+37x_6\leq 2500$$

ХІІ. За вуглеводною поживністю

сирої клітковини не менше:

$$233x_1+111x_2+81x_3+11x_4+65x_5+358x_6\geq 4120$$

сирої клітковини не більше:

$$233x_1+111x_2+81x_3+11x_4+65x_5+358x_6\leq 4140$$

БЕР не менше: $388x_1+48x_2+150x_3+48x_4+573x_5+371x_6\geq 4950$

БЕР не більше: $388x_1+48x_2+150x_3+48x_4+573x_5+371x_6\leq 8100$

ХІІІ. За ліпідною поживністю

сирого жиру не менше: $18x_1+15x_2+10x_3+3x_4+20x_5+13x_6\geq 435$

сирого жиру не більше: $18x_1+15x_2+10x_3+3x_4+20x_5+13x_6\leq 510$

ХІV. За вітамінною поживністю

каротину не менше: $19x_1+26x_2+15x_3+20x_4\geq 1385$

ХV. За кількістю окремих кормів в раціоні

сіна не менше: $x_1\geq 5$

сінажу або силосу не більше: $x_2+x_3\leq 20$

кормового гарбуза не більше: $x_4\leq 40$

концентратів не менше: $x_5\geq 2,7$

загальний обсяг кормів не менше: $x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6\geq 45$

Критерій оптимальності – мінімальна вартість раціону:

$$Z=0,91x_1+0,38x_2+0,52x_3+0,94x_4+1,2x_5+0,10x_6\rightarrow \min$$

За оптимальним планом при використанні дев'ятого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.1, додатку К) у добовий раціон корови з заданою масою 500 кг та продуктивністю 18-20 кг слід включити 5 кг сіна, 16,3 кг сінажу, 3,7 кг силосу, 15,9 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 1,4 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 16,1 кормових одиниць складе 30,95 грн.

Аналогічно розраховуються оптимальні раціони за умови використання інших технологій заготівлі сінажу (рис. К.2-К.9, додатку К)

Згідно оптимального плану при використанні першого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.2, додатку К) у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 5 кг сіна, 9,5 кг сінажу, 10,5 кг силосу, 14,9 кг кормового гарбуза, 2,8 кг концентратів та 2,3 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 13,6 кормових одиниць складе 33,47 грн.

За оптимальним планом при використанні другого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.3, додатку К) у добовий раціон корови з масою 500 кг та продуктивністю 18-20 кг слід включити 5 кг сіна, 6 кг сінажу, 14 кг силосу, 14,9 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,5 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 13,8 кормових одиниць складе 33,40 грн.

Згідно оптимального плану при використанні третього варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.4, додатку К) у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 5,4 кг сіна, 5,7 кг сінажу, 14,3 кг силосу, 14,9 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,1 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,0 кормових одиниць складе 35,41 грн.

За оптимальним планом при використанні четвертого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.5, додатку К) у добовий раціон корови з масою 500 кг та продуктивністю 18-20 кг слід включити 5 кг сіна, 7,6 кг сінажу, 12,4 кг силосу, 15,1 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,2 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,0 кормових одиниць складе 34,03 грн.

Згідно оптимального плану при використанні п'ятого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.6, додатку К) у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 5,4 кг сіна, 5,7 кг сінажу, 14,1 кг силосу, 15 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,5 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,1 кормових одиниць складе 33,04 грн.

За оптимальним планом при використанні шостого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.7, додатку К) у добовий раціон корови з масою 500 кг та продуктивністю 18-20 кг слід включити 5 кг сіна, 13,3 кг сінажу, 6,7 кг силосу, 15,2 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,1 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,2 кормових одиниць складе 31,46 грн.

Згідно оптимального плану при використанні сьомого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.8, додатку К) у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 5 кг сіна, 7 кг сінажу, 13 кг силосу, 14,8 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,5 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,2 кормових одиниць складе 32,37 грн.

За оптимальним планом при використанні восьмого варіанту технології заготівлі сінажу (рис. К.9, додатку К) у добовий раціон корови з масою 500 кг та продуктивністю 18-20 кг слід включити 5 кг сіна, 6 кг сінажу, 14 кг силосу, 15 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 2,3 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 14,2 кормових одиниць складе 32,12 грн.

Використання дев'ятого варіанту технологій заготівлі сінажу забезпечує найнижчу середньозважену вартість 1 кг к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. Таким чином, при середніх витратах 0,84 кг корм. од. на 1 кг молока вартість кормів в 1 кг молока становитиме 1,63 грн., тоді собівартість 1 кг молока, з розрахунку, що доля кормів складає 60%, складе 2,72 грн. Зниження собівартості при використанні даної технології у порівнянні з іншими варіантами становитиме від 1,6 до 12,6%.

Економія витрат при використанні даної найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами в розрахунку на 1 кг молока коливатиметься в межах від 5 до 39 коп.; в розрахунку на річний удій від 1 корови економія складатиме 0,3-2,2 тис. грн.; в розрахунку на валовий надій 200 корів економія витрат може скласти від 51,3 до 446,2 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 1 кг к. од., або 13,3-18,5% (табл. 6.18).

Таблиця 6.18 – Економічні показники для запропонованих технологій при середньодобовому надої від 1 корови - 19 кг

Показники	Варіанти технологій								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вартість добового раціону 1 корови, грн.	33,47	33,40	35,41	34,03	33,04	31,46	32,37	32,12	30,95
Вміст кормових одиниць у добовому раціоні, кг	13,60	13,75	14,04	14,05	14,05	14,17	14,17	14,22	16,11
Середньозважена вартість 1 кг к. од. раціону, грн.	2,46	2,43	2,52	2,42	2,35	2,22	2,29	2,26	1,92
Середні витрати кормових одиниць на 1 кг молока	0,72	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,84
Вартість кормів в 1 кг молока, грн.	1,76	1,76	1,86	1,79	1,74	1,66	1,70	1,69	1,63
Собівартість 1 кг молока(з розрахунку, що доля кормів складає 60%), грн.	2,94	2,93	3,11	2,98	2,90	2,76	2,84	2,82	2,72
Зниження собівартості при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами, %	7,5	7,3	12,6	9,0	6,3	1,6	4,4	3,7	x
Економія витрат при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами в розрахунку: на 1 кг молока, грн.	0,22	0,21	0,39	0,27	0,18	0,05	0,12	0,10	x
на річний удій від 1 корови , тис.грн.	1,3	1,2	2,2	1,5	1,0	0,3	0,7	0,6	x
на валовий надій (100 гол.), тис.грн.	125,8	122,4	223,1	153,8	104,2	25,7	71,0	58,6	x
на валовий надій (200 гол.), тис.грн.	251,7	244,9	446,2	307,7	208,4	51,3	141,9	117,3	x
на валовий надій (400 гол.), тис.грн.	503,3	489,8	892,4	615,3	416,9	102,6	283,9	234,6	x
Збільшення поживності раціону (вмісту кормових одиниць у добовому раціоні) при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами:									
в корм. од	2,51	2,36	2,07	2,06	2,06	1,94	1,95	1,89	x
в %	18,5	17,2	14,8	14,7	14,7	13,7	13,7	13,3	x

Таблиця 6.19 – Економічні показники для запропонованих технологій при середньодобовому надої від 1 корови в вар 9 - 21 кг, в інших 19 кг

Показники	Варіанти технологій								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вартість добового раціону 1 корови, грн.	33,47	33,40	35,41	34,03	33,04	31,46	32,37	32,12	30,95
Вміст кормових одиниць у добовому раціоні, кг	13,6	13,8	14,0	14,0	14,1	14,2	14,0	14,0	16,1
Середньозважена вартість 1 кг к. од. раціону, грн.	2,46	2,43	2,52	2,42	2,35	2,22	2,29	2,26	1,92
Середні витрати кормових одиниць на 1 кг молока, кг	0,72	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,77
Вартість кормів в 1 кг молока, грн.	1,76	1,76	1,86	1,79	1,74	1,66	1,70	1,69	1,47
Собівартість 1 кг молока(з розрахунку, що доля кормів складає 60%), грн.	2,94	2,93	3,11	2,98	2,90	2,76	2,84	2,82	2,46
Зниження собівартості при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами, %	16,3	16,2	20,9	17,7	15,2	11,0	13,5	12,8	x
Економія витрат при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами в розрахунку: на 1 кг молока, грн.	0,48	0,47	0,65	0,53	0,4	0,30	0,38	0,36	x
на річний удій від 1 корови , тис.грн.	2,7	2,7	3,7	3,0	2,5	1,7	2,2	2,1	x
на валовий надій (100 гол.), тис.грн.	273,2	269,8	370,5	301,2	251,6	173,0	218,4	206,0	x
на валовий надій (200 гол.), тис.грн.	546,4	539,7	741,0	602,4	503,2	346,1	436,7	412,1	x
на валовий надій (400 гол.), тис.грн.	1092,9	1079,3	1481,9	1204,9	1006,4	692,2	873,4	824,1	x
Збільшення поживності раціону (вмісту кормових одиниць у добовому раціоні) при використанні найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами:									
в кг корм. од.	2,51	2,36	2,07	2,06	2,06	1,94	1,95	1,89	x
в %	18,5	17,2	14,8	14,7	14,7	13,7	13,7	13,3	x

Оптимізація раціону при використанні дев'ятого варіанту технологій заготівлі сінажу забезпечує високий вміст кормових одиниць та достатній рівень (згідно нормативів годування) поживних речовин, щоб збільшити середній добовий надій молока від корови масою 500 кг до 21 кг та річний надій, відповідно, до 6,4 т/рік, тоді як в оптимальних раціонах для інших варіантів вміст кормових одиниць та поживних речовин дозволяє досягти лише запланованого середнього добового рівня продуктивності 19 кг та річного рівня 5,7 т.

Таким чином, використання дев'ятого варіанту технологій заготівлі сінажу забезпечує найнижчу середньозважену вартість 1 кг к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. Отже, при середніх витратах 0,77 кг корм. од. на 1 кг молока вартість кормів в 1 кг молока становитиме 1,47 грн., тоді собівартість 1 кг молока, з розрахунку того, 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 запропонованої 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 однієї 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 при використанні запропонованої технології у порівнянні з іншими варіантами складатиме від 1,89 до 2,51 кг к. од., або 13,3-18,5% (табл.. 6.19).

6.3 Висновки по розділу

1. Обґрунтовано собівартість 1 т готової сінажної маси та вартість кормової одиниці при використанні різних технологій заготівлі, а саме:

перший варіант – застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами;

другий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах із застосуванням обладнання AG-Bag для їх завантаження та ущільнення;

третьої варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням причепів – ущільнювачів та отриманням герметичних, ущільнених пакунків із структурованою рослинною сировиною;

четвертий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та пакування в полімерні сховища із одночасним внесенням консерванту;

п'ятий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини прес-підбирачів з наступним обмотуванням полімерною плівкою обмотувальниками;

шостий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами;

сьомий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах із застосуванням обладнання AG-Bag для їх завантаження та ущільнення;

восьмий варіант - застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та пакування в полімерні сховища із одночасним внесенням консерванту;

дев'ятий варіант – застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепу – ущільнювача – підбирача з отриманням герметичних, ущільнених пакунків із структурованою рослинною сировиною.

2. Рационально 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

3. Аналіз розглянутих технологій дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепу – 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.

4. Визначено оптимальний добовий кормовий раціон для дійних корів масою 500 кг з добовим надоем 18-20 кг та жирністю 4% при використанні розглянутих варіантів технології заготівлі сінажу.

За оптимальним планом при використанні найефективнішого дев'ятого варіанту технології заготівлі сінажу у добовий раціон корови з заданою масою та продуктивністю слід включити 5 кг сіна, 16,3 кг сінажу, 3,7 кг силосу, 15,9 кг кормового гарбуза, 2,7 кг концентратів та 1,4 кг соломи. Вартість раціону при загальному вмісті 16,1 кормових одиниць складе 30,95 грн.

5. Оптимізація раціону при використанні дев'ятого варіанту технологій заготівлі сінажу забезпечує високий вміст кормових одиниць та достатній рівень (згідно нормативів годування) поживних речовин, щоб збільшити середній добовий надій молока від корови масою 500 кг до 21 кг та річний надій, відповідно, до 6,4 т, тоді як в оптимальних раціонах для інших варіантів вміст кормових

одиниць та поживних речовин дозволяє досягти лише запланованого середнього добового рівня продуктивності 19 кг та річного рівня 5,7 т.

6. Використання причепу – ущільнювача – підбирача при заготівлі сінажу забезпечує найнижчу середньозважену вартість 1 кг к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. Отже, при середніх витратах 0,77 кг 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%.

7. 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 1 кг к. од., або 13,3-18,5%.

ЗАГАЛЬНІ 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 безазотистих екстрактивних речовин і насичених жирних кислот продуктивність тварин молочного напрямку може зменшуватися на 20...25%. За-для 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 – 6,3...6,8 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/м^3 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 $\eta = 0,081 - 0,092 \text{ кДж/м}^3$. 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 $350-370 \text{ кг/м}^3$ вихідна щільність рослинної сировини сягне $800-900 \text{ кг/м}^3$.

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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боярский Л. Г. Производство и использование полнорационных кормовых смесей / Л. Г. Боярский. – М.: Колос, 1976. – 240с.
2. Девяткин А. И. Рациональное использование кормов / А. И. Девяткин. – М.: Росагропромиздат, 1990. - 256с.
3. Дмитриенко А. П. Кормление сельскохозяйственных животных / А. П. Дмитриенко, П. Д. Пшеничный. – Л.: Колос, 1975. – 480с.
4. Крылов В. М. Полноценное кормление коров / В. М. Крылов, Л. И. Зинченко, А. И. Толстов. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд., 1987. – 159с.
5. Мурусидзе Д. Н. Технология производства продукции животноводства / Д. Н. Мурусидзе, А. Б. Левин. – М.: ВО «Агропромиздат», 1992.
6. Повышение качества и эффективности использования кормов / под ред. М. А. Смурыгина. – М.: Колос. 1983. 317с.
7. Guyer Q. Low quality feedstuffs – alternatives to grain for beef ration. I / Anim. Sci. – 1976. – P. 778-782.
8. Laube W.u.a. Empfehlungen zu Erhöhung dez Futterökonomie, 1975.
9. Бондарев В. А. Способы подготовки грубых кормов к скармливанию / В. А. Бондарев. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 165с., ил.
10. Берг Ф. Новые способы производства и переработки кормов для жвачных животных / Ф. Берг // Международный сельскохозяйственный журнал – 1975. - №1. – С.70 – 73.
11. Бондарев В. А. Приемы повышения качества кормов // Кормопроизводство / В. А. Бондарев. – 1996. - №1. – С.33-37.
12. Долгорученко Л. Е. Жидкие ингредиенты в комбикормах / Л. Е. Долгорученко. – М.: Колос, 1974. – 127с.

13. Завражнов А. И. Механизация приготовления и хранения кормов / А. И. Завражнов, Д. И. Николаев. – М.: Колос, 1994.
14. Потапенко В. А. Автоматизированный кормоцех / В. А. Потапенко, В. И. Передня, В. А. Жабко // Кормопроизводство. – 1982. - №10.
15. Березовский А. А. Сенаж – новый корм / А. А. Березовский, И. Я. Автономов. – М.: Колос, 1971. – 51с.
16. Воробйов Б. С. Заготівля та консервування зелених кормів / Б. С. Воробйов. – К.: «Урожай» 1978. 168с.
17. ГОСТ 4808-87. Сено. Технические условия. Введ. 01.05.88. - – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с. - (Единая система технологической документации).
18. Куликов В. М. Обоая зоотехния. 2-е изд., перераб. и дополн. / В. М. Куликов, Ю. Д. Рубан. - М.: Колос, 1982. - 560с.
19. Баканов В. Н. Кормление сельскохозяйственных животных / В. П. Баканов, В. К. Менькин. - М.: Агропромиздат, 1989. - С.26-36.
20. Менькин В. К. Кормление животных. — 2-е изд., перер. и доп. / В. К. Менькин. - М.: КолосС, 2004. - 360с.
21. Дмитроченко А. Н. Кормление сельскохозяйственных животных / А. Н. Дмитроченко, Н. Д. Пшеничный - Л.: Колос, 1975. - С.54-63.
22. Богданов Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г. А. Богданов. — М.: Колос, 1981.-432с.
23. Богданов Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных. -2-е изд., переработанное и дополненное. / Г. А. Богданов. - М.: ВО Агропромиздат, 1990.- 624с.
24. Боярский Л. Г. Производство и использование кормов в промышленном животноводстве / Л. Г. Боярский, В. Д. Дзарданов. - М.: Россельхозиздат, 1980. - 158с.

25. Иоффе В. Б. Приготовление и использование сенажа. / В. Б. Иоффе, П. С. Авраменко, А. М. Бурмистов. - М.: Урожай, 1972. - 72с.
26. Архипов Г. И. Справочник по откорму скота / Г. И. Архипов, Г. В. Епифанов, Т. Л. Карасева [и др.] - М.: Россельхозиздат, 1980.- С. 9-15.
27. Девяткин А. Н. Рациональное использование кормов в промышленном животноводстве / А. И. Девяткин, Е. И. Ткаченко. - М.: Россельхозиздат, 1981. - 222с.
28. Девяткин А. И. Промышленное производство говядины / А. И. Девяткин, Е. И. Ткаченко - М.: Россельхозиздат, 1985. - 317с.
29. Панкратов А. А. Производство говядины на промышленной основе / А. А. Панкратов, А. В. Орлов, Ю. С. Рядиев. - М.: Колос, 1984. - С. 86-88.
30. Кулик М. Ф. Енерговіддача кормів різних технологій виробництва / М. Ф. Кулик, М. М. Пономаренко, М. Ф. Дудко. – К.: Урожай, 1991. – 208с.
31. Боярский Л. Г. Технология кормов и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л. Г. Боярский. - Ростов н / Д: Феникс, 2001. - 416с.
32. Anderson R. Evaluation studies in the development of a Commercial bacterial inoculants as an abbitive for grass silage / R. Anderson, H.J. Gracey, S.J. Kennedy et.al. / Grass Forage Sci. - 1989. - P. 361-369.
33. Harrison J. H. Effect of inoculation rate of selected strains of lactic acid bacteria on fermentation and in vitro digestibility of grass-legume forage / J. H. Harrison, S. D. Soderland, K. A. Loney / LDairy Sc. - 1989. - P. 72-79.
34. Хохрин С. Н. Корма и кормление животных: Учебное пособие. / С. Н. Хохрин - СПб.: Издательство «Лань», 2002. - С. 108-186.
35. Weite C. Schinssubgerungen ans der Welksilagtproduction von 1972 bis 1973/C.Weite, H. Bennenwiz, M. Fechner / Feidwirtschaft. - 1973. - В. 14, №L - S.34-39.
36. Зафрен С. Я. Технология приготовления кормов. Справочное пособие. / Зафрен С. Я. - М.: 1977.-С.112-127.

37. Консилев Е. Г. О приготовлении сенажа и силоса с различной влажностью / Е. Г. Консилев, Л. Г. Боярский // Животноводство. - 1972. - № 9. - С.28-32.
38. Венедиктов А. М. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных. / А. М. Венедиктов. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 303 с.
39. Прыгунков В. А. Приемы приготовления кормов из многолетних трав / В. А. Прыгунков // Зоотехния. - 2003. - №1. - С. 15-17.
40. Сельманович В. Л. Кормопроизводство: учеб. Пособие / В. Л. Сельманович. – Минск: Новое знание, 2008. – 256с.
41. Бродская Н. М. Технология приготовления сенажа и его использование / Н. М. Бродская, Т. С. Пустовойт // Сенаж в Западной Сибири. - Новосибирск, 1972.- С.40-46.
42. Симарев Ю. Резервы улучшения кормовой базы крестьянских (фермерских) хозяйств / Ю. Симарев // Молочное и мясное скотоводство. - 1995. - №2. - С.33-38.
43. Stutzer D. E. G. Stebt gemeinsamee Sicher-heitnormen für Landmaschinen an / Fortschz Landwirt. - 1990. - 68,10 - S.4-6.
44. Бондарев В. А. Проблемы, состояние и ожидаемые результаты исследований по консервированию и хранению кормов // Кормопроизводство. - 2002. - №11.-С.2-6.
45. ГОСТ 23637-90 Сенаж. Технические условия. Введ. 01.05.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с. - (Единая система технологической документации).
46. Храпач Е. И. Механизация заготовки и раздачи кормов / Е. И. Храпач. – М.: Колос, 1969. – 335 с.
47. Мілько Д. О. Ідентифікація можливих проблем при зберіганні силосу / Д. О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 10, т. 5. - 2010. – С. 27 - 36.

48. Мілько Д. О. Рекомендації щодо створення повнораціонних кормів для молодняку великої рогатої худоби / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 15, т. 3. - 2015. – С. 195 - 204.

49. Заготовка, хранение и использование кормов / Г. Т. Клиценко, Н. М. Карпусь, А. В. Малиенко [и др.]. - К.: Урожай, 1987.- 336 с.

50. Пат. 47804 Україна, МПК7 А01D 87/00 Вивантажувач кормів з вертикальною зміною точки обертання стріли / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв, Б. В. Болтянський // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 200908822; Заявл. 25.08.2009; Опубл. 25.02.2010; Бюл. № 4. – 3 с.

51. Пат. 48822 Україна, МПК7 А01D 87/00 Вивантажувач кормів з горизонтальною зміною точки обертання стріли / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв, Н. І. Болтянська // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 200908300; Заявл. 06.08.2009; Опубл. 12.04.2010; Бюл. № 7. – 3 с.

52. Мілько Д. О. Обґрунтування параметрів маятникового вивантажувача консервованих кормів з пило-гвинтовим відокремлювачем / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 8, т. 3. - 2008. – С. 9-15.

53. 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. – Запоріжжя: ІМТ УААН – Вип. 2. - 2008. – С. 35-38.

54. Мілько Д. О. Мобільні маятникові вивантажувачі траншейних кормосховищ зі зміною точки обертання // Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв, Б. В. Болтянський // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 8, т. 8. - 2008. – С. 126-131.

55. Артюшин А. А. Повышение качества функционирования технических систем хранения и приготовления кормов на животноводческих предприятиях: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А. А. Артюшин; Ленинградский сельскохозяйственный институт. - Л.: 1990. - 40 с.

56. Наконечний С. І. Планування виробництва і використання кормів в районних агропромислових об'єднаннях / С. І. Наконечний, І. П. Лузан, К.: Урожай, 1986, с. 20-25.

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

58. Мілько Д. О. Сучасні тенденції зберігання кормів / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиев // Збірник наукових праць Інституту механізації тваринництва Української академії аграрних наук. – Запоріжжя: ІМТ УААН – Вип. 5,6. - 2010. – С. 191 - 195.

59. Гарькавий А. Д. Техніко – експлуатаційні основи розробки комплексів машин для збирання трав: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А. Д. Гарькавий; Національний аграрний університет. - К.: 1995. - 49 с.

60. Резник Е. И. Повышение эффективности функционирования технических систем заготовки, приготовления и раздачи стебельчатых кормов / Е. И. Резник // Научно-технический прогресс в животноводстве: перспективная система машин - основа реализации стратегии машинно-технологического обеспечения животноводства на период до 2010 г.: сб. науч. тр. ВНИИМЖ, Т. 13, ч.2. - Подольск, 2004. - С. 63-77.

61. Сирвидис Й. Ю. Технологии и средства механизации заготовки травяных кормов: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Й. Ю. Сирвидис; Латвийский сельскохозяйственный университет. – Елгава, 1991. – 37 с.

62. Альтшуллер Г.С. Поиск новых идей: от озарения к технологи (теория и практика решения изобретательских задач) / Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: "Картя Молдовеняскэ", 1989. – 375 с.

63. Бужин О. А. Конкурентоспроможність продукції тваринництва: Монографія / О. А. Бужин. – Черкаси: «Відлуння – Плюс», 2008. – 248 с.

64. Гуляев В. А. Сенаж в упаковке — оценка «отлично». [Электронный ресурс] / Виктор Алексеевич Гуляев. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://agroinfo.com/senazh-v-upakovke-ocenka-otlichno-1902201505>.

65. Кайдалов А.Ф. Кормление высокопродуктивных коров / А.Ф. Кайдалов, Б.Ф. Орлянский. - Учебное пособие. - Новочеркасск: РИПКА, 2007. - 49 с.

66. Горин О. Тратить, чтобы экономить [Электронный ресурс] / Олег Горин. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.milkua.info/ru/post/tratit-stoby-ekonomit>.

67. Крайняк О.К. Економічне обґрунтування ефективності енергозберігаючих технологій виробництва насіння кормових культур: дис. канд. економ. наук / О. К. Крайняк; Тернопільський державний економічний університет. – Тернопіль, 2007. – 187 с.

68. Обзор: животноводство – 2011. Итоги // Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.mayak.zp.ua/news/626-obzor-zhivotnovodstvo-2011-itogi.html>.

69. Хромов Ю. С. О внешних факторах продовольственной безопасности России / Ю. С. Хромов // Пищевая промышленность. – 2002. - №3. – С14-15.

70. Власов В. І. Глобалізація і глобальна продовольча проблема / В. І. Власов // Економіка АПК. – 2004. - №1. – С.15 – 26.

71. Бойко В. І. Про гарантування продовольчої безпеки України / В. І. Бойко // Економіка АПК. – 2006. - №1. – С.60 – 67.

72. Хорунжий М. Й. Продовольча безпека: соціально – економічна суть, стан, і показники / М. Й. Хорунжий // Економіка АПК. – 2003. - №6. – С.9 – 16.

73. Гойчук О. І. Продовольча безпека: структура, рівні та критерії забезпечення / О. І. Гойчук // Актуальні проблеми економіки. – 2003. - №12. – С. 119 – 129.

74. Ушачев И. Г. Стратегия продовольственной безопасности России / И. Г. Ушачев // Пищевая промышленность. – 2002. - №2. – С. 16 – 17.

75. Продовольственная безопасность и виды экономических угроз / Е. В. Ульянов, О. А. Масленникова, С. С. Теребулин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2002. - №2. – С. 12 – 14.

76. Ушачев И. Г. Стратегия продовольственной безопасности России / И. Г. Ушачев // Пищевая промышленность. – 2002. - №3. – С. 12 – 13.

77. Купреенко А. И. Разработка метода оптимизации энергосберегающих технологий и средств механизации приготовления кормов [Электронный ресурс]: дис. ... д-ра техн. наук / А. И. Купреенко; - М.: РГБ, 2006. – (Из фондов Госсийской Государственной Библиотеки).

78. Кормление сельскохозяйственных животных: учебное пособие для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям «Ветеринарная медицина», «Зоотехния» / В. К. Пестис [и др.]; под ред. В. К. Пестиса – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 540 с.

79. Шацький В. В. Якість змішування компонентів раціону – основа підвищення продуктивності тварин / В. В. Шацький, Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський [та ін..] // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 1. Т. 3. – С. 56 – 61. – Режим доступу: [<http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>].

80. Мухин В. А. Совершенствование технологий и технических средств приготовления кормов с ресурсосбережением в животноводстве: дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Мухин. Саратовский ГАУ. - Саратов, 2005. - 470 с.

81. Мілько Д. О. Вплив якісних показників основних компонентів збалансованого раціону на продуктивність молочного скотарства / Д.О. Мілько // Ме-

ханізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2013. – Вип. 97, Т.1. - с. 592–598.

82. Мілько Д. О. Модель конверсії енергії корму в продукцію молочного скотарства / Д. О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, Т.5.– с.142-147.

83. Купреенко А. И. Энергетическая оценка технологий заготовки и приготовления кормов / А. И. Купреенко. - Брянск: Изд. БГСХА, 2005. – 100 с.

84. Норми годівлі, раціони та поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин: довідник / Г. В. Проваторов, В. І Ладика, Л. В. Бондарчук – 2-ге вид., стер. – Суми: Університетська книга, 2009. – 489 с.

85. Трончук І. С. Структура і поживність раціонів для дійних корів із річним надоєм молока від шести до дев'яти тисяч кілограмів / І. С. Трончук, Т. М. Рак, Н. В. Чижанська // Вісник Полтавської державної аграрної академії. - Полтава, 2012. - № 1. - с.107-111.

86. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции животноводства. / Под общей ред. Е. И. Базарова, Е. В. Глинки. - М.: ВАСХНИЛ, 1983. - 44 с.

87. Сыроватка, В. И. Экономико-математические модели задач выбора и обоснования проектно-технологических решений комбикормовых предприятий / В. И. Сыроватка, П. М. Морозов, М. Г. Теплицкий. - ВНИИМЖ, 1996.

88. Пат. 95768 Україна МПК7 А01К 5/00 Бункерний віброущільнювач / Д. О. Мілько, Н. І. Болтянська // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 201406693; Заявл. 16.06.2014; Опубл. 12.01.2015; Бюл. №1. – 2 с.

89. Пат. 69416 Україна МПК7 А01F 15/00 Бункерний віброущільнювач. / Мілько Д. О. // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 201112708; Заявл. 31.10.2011; Опубл. 25.04.2012; Бюл. № 8. – 4 с.

90. Пат. 98162 Україна, МПК7 А23К 3/03, Спосіб консервування рослинної сировини. / Мілько Д. О. // Таврійський державний агротехнологічний університет. №201408538; Заявл. 28.07.2014; Опубл. 27.04.2015; Бюл. №8. - 2 с.

91. Шацький В. В. Методологія оптимізації параметрів конкурентоспроможного техніко-технологічного забезпечення тваринництва / В. В. Шацький, О. Г. Скляр, Д. О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 11, т. 1. - 2011. – С. 119 - 129.

92. Безпалов Р. І. Обґрунтування технологічної схеми обладнання для заготовки рослинної сировини в безстінні сховища / Р. І. Безпалов, Д. О. Мілько, О. О. Троїцька [та ін.] // Праці Таврійської державної агротехнічної академії, - Мелітополь: ТДАТУ. - Вип. 7, т. 2, 2007.

93. Голуб Г. А. Механіко – технологічне обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва їстівних грибів: дис. ... д-ра техн. наук / Г. А. Голуб; ННЦ «ІМЕСГ» – Глеваха, 2005. - 394с.

94. Пат. 18576 Україна МПК7 G01F 11/10 Дозатор - розподільник дрібнодисперсних матеріалів / Р. І. Безпалов, Д. О. Мілько, В. М. Забудченко, О. М. Курнаєв // Інститут механізації тваринництва Української аграрної академії наук. № 200605147; Заявл. 10.05.2006; Опубл. 15.11.2006; Бюл.№ 11.– 2 с.

95. Мілько Д. О. Обґрунтування технологічної схеми обладнання для заготовки рослинної сировини в безстінні сховища / Д. О. Мілько, Р. І. Безпалов, О. О. Троїцька [та ін..] // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип. 7, т. 2. - 2007. - С. 66-74.

96. Милько Д. А. Совершенствование конструктивно – технологической схемы оборудования для заготовки растительного сырья во временных полимерных хранилищах / Д. А. Милько // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. - Ставрополь: Агрус, 2013. - С.39-42.

97. Використання плівкових рукавів для зберігання стеблових кормів та зерна / за ред.. Присяжнюка М. В. та Петриченка В. Ф. – К.: Аграр. Наука, 2013. – 96 с., іл..

98. Угринчук И. Состав, полезные свойства, калорийность молока / Электронный ресурс / И. Угринчук. – 2008. – Режим доступа: <http://www.pravda.rv.ua/food/milk.php>;

99. Химический состав молока / Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.moloko.cc/view_news.php?id=1037;

100. Справочник по качеству кормов / под ред. А. А.Омельяненко. – К.: Урожай, 1985.-192 с.

101. Проваторов Г. В. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин: довідник / Г. В. Проваторов, В. І. Ладика, Л.В. Бондарчук: за аг. ред..В. О. Проваторова. – 2-ге вид., стер.-Суми: Університетська книга, 2009. – 489 с.

102. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное / Под ред.. А. П. Калашникова, В. И. Фисина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменеова. – М.: Рос-сельхозакадемия. 2003. - 456 с.

103. Дурст Л. Кормление сельскохозяйственных животных. / Л. Дурст, М. Витман. – под. ред. Ибатуллина И. И., Проваторова Г. В. - Винница: Нова книга, 2003.- 384 с.

104. Фрыгин Л. В. Повышение эффективности заготовки кормов из подвяленных трав путем формирования адаптивных технологий и комплексов технических средств: дис. докт. техн. наук / Л. В. Фрыгин; СЗ НИИМЭСХ. – Санкт - Петербург – Павловск, 2001. – 187 с.

105. Фролов В. Ю. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи высококачественных кормов на малых фер-

мах: дис. ... д-ра. техн. наук / В. Ю. Фролов; Дальневосточный ГАУ. – Благовещенск, 2002. – 302 с.

106. Курдюмов В. И. Энергосберегающая технология и средства механизации приготовления комбинированного силоса крупному рогатому скоту: дис. ... д-ра. техн. наук / В. И. Курдюмов; Рязанская ГСХА им. профессора П. А. Костычева. – Рязань, 2002. – 383с.

107. Мухин В. А. Совершенствование технологий и технических средств приготовления кормов с ресурсосбережением в животноводстве: дис. ... д-ра. техн. наук / В. А. Мухин; Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2005. – 509 с.

108. Довідник поживності кормів: довідник / під ред.. М. М. Карпуся, І. П. Проскури, А. А. Плішки. – К.: Урожай, 1978. – 260с.

109. Кулік М. Ф. Енерговіддача кормів різних технологій виробництва / М. Ф. Кулік, М. М. Пономаренко, М. Ф. Дудко – К.: Урожай, 1991.- 192с.

110. Сирвидис Й. Ю. Технологии и средства механизации заготовки травяных кормов: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / Й. Ю. Сирвидис; Латвийский сельскохозяйственный университет. - Елгава, 1991 – 37 с.

111. Чурсинов Ю. А. Прогрессивные технологические процессы производства протеиновых кормов из зеленых растений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. А. Чурсинов; ЦНИПТИИМЭЖ. – Запорожье, 1980 - 41с.

112. Воронецька І. С. Визначення собівартості молока на основі енергетичної оцінки кормів / І. С. Воронецька, О. М. Рибаченко, А. В. Тучик // Економіка АПК. – 2013. - №1. – С. 38-42.

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

114. Гарькавий А. Д. Технологическое – эксплуатационное основы разработки комплексов машин для збирання трав: автореф. дис. д-ра. техн. наук / А. Д. Гарькавий; НАУ. – Київ, 1995 – 48с.

115. Желиговский В. А. Экспериментальная теория почвообрабатывающих машин и механической технологии сельхозматериалов / В. А. Желиговский. – Тбилиси: ГСХИ, 1960. – 146 с.

116. Мілько Д. О. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу / Д.О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. Вип. 132, 2013.

117. Мілько Д. О. Особливості оцінки результатів регресійного аналізу / Д. О. Мілько // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с-г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 28, – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 196–202.

118. Биргер И. А. Сопротивление материалов: учебное пособие. / И. А. Биргер, Р. Р. Малютов. – М.: Наука. Гл. Ред.. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.

119. Бросалин В. Г. Некоторые физико–механические свойства клоновых подвоев яблони в связи с механизацией их возделывания / В. Г. Бросалин, А. А. Завражнов, А. И. Завражнов [и др.] // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти – Вип. 3. – Херсон: ОЛДІ–ПЛЮС, 2015. – С. 85–91.

120. Иванов В. Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости: Учеб. пособие / В. Н. Иванов. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 176 с.

121. Папкович П. Ф. Теория упругости / П. Ф. Папкович. – К.: Оборонгиз, 1939. – 641 с.

122. Лашкарев А. Ю. Сенные прессы / А. Ю. Лашкарев. - С-Петербург: Типография М. М. Стасюлевича, 1899. - 22 с.

123. Витт К. Н. Опыт брикетирования соломы как топлива для газогенераторных двигателей / К. Н. Витт // Труды Азово-Черноморского института механизации сельского хозяйства. - Вып.11, - Ростов-на-Дону, 1939. - С. 11-14.
124. Горячкин В. П. Собрание починений / В. П. Горячкин // Соч. : в 3 т. - М.: Колос, 1965. – Т. 3. - 384 с.
125. Гутьяр Е. М. Опыт теории сенопрессования. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Т. IV. – М.: Сельхозгиз, 1936.
126. Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств / М. А. Пустыгин. - М.: Сельхозгиз, 1948. - 93 с.
127. Пустыгин М. А. Закон сжатия слоя стеблей хлеба / М. А. Пустыгин // Сельхозмашина, 1937, № 12. - С. 14-17.
128. Особов В. И. Исследование процесса брикетирования сена: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1963. - С. 8-141.
129. Особов В. И. Технологические основы расчета рабочих органов для уплотнения сено-соломистых материалов: дис. ... д-ра техн.наук. Ленинград-Пушкин, 1971, с.12-381.
130. Долгов И. А. Научные основы методики расчета рабочих органов прессующих, брикетирующих и прокатывающих сеноуборочных машин: дис. ... д-ра. техн. наук / И. А. Долгов; - М., 1971.
131. Храпач Е. И. Теоретическое и экспериментальное исследование соломо-пресса для комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. И. Храпач. Харьков, 1956. - 15 с.
132. Некрашевич В. Ф. Экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса пресса-гранулятора травяной муки: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В. Ф. Некрашевич; - Ленинград-Пушкин, 1968. - 25 с.
133. Алферов С. А. Исследование процесса прессования соломы: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / С. А. Алферов; - М., 1955. - 19 с.

134. Григорьев А. А. Изыскание и исследование новых способов прессования сена в рулоны: авторф. дисс. ... канд. техн. наук / А. А. Григорьев; - М., 1967. - 24 с.

135. Пережогин М. А. Исследование процессов брикетирования грубых кормов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / М. А. Пережогин; - Челябинск, 1963. - 19 с.

136. Колотев А. А. Исследование энергоемкости процесса прессования сена в брикеты: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. А. Колотев; - Алма-Ата, 1969. - 22 с.

137. Шульга Г. Н. Исследование и обоснование технологического процесса и рабочего органа плунжерного типа для прессования сена в брикеты: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Г. Н. Шульга; - Минск, 1974. - 24 с.

138. Канафойский Ч. К вопросу об изучении явлений, происходящих во время молотбы бильными барабанами / Ч. Канафойский // Труды Института сельскохозяйственного машиностроения при Львовском политехникуме в Дублянах, 1934.

139. Skalweit X. Krafte und Beanspruchungen in Strohpressen RKTD. Schriften Heftss, 138, S.30-35.

140. Butler J. L., McColli p. F. Factors affecting the pelleting of hay. Agricultural Engineering, 1959, v.40, № 8, p.442-448.

141. Подкользин Ю. В. Исследование рабочего процесса и обоснование конструктивных параметров пресса для гранулирования и брикетирования: авторф. дисс. ...канд. техн. наук / Ю. В. Подкользин; – Ленинград–Пушкин, 1975. - 24 с.

142. Mewes E. Verdichtungsgesetzmapigkeit nach Presstopfersuchen. Langtechnische Forschung, 1959, p. 3, s.68-76.

143. Особов В. И. Машины для брикетирования сена / В. И. Особов // Тракторы и сельхозмашины, 1965, № 3. - С.45-46.

144. Особов В. И. Машины и оборудование для уплотнения сенокосомистых материалов / В. И. Особов, Г. К. Васильев, А.В. Голяновский. –М.: Машиностроение, 1974.-231 с.

145. Особов В. И. Сенокосборочные машины и комплексы / В.И. Особов, Г. К. Васильев. - М.: Машиностроение, 1983. - 304 с.

146. Кучинкас Х. М. Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов / Х. М. Кучинкас, В. И. Особов, Ю. Л. Фрегер. - М.: Агрпромиздат, 1988. - 208 с.

147. Фарбман Г. Я. Исследование закономерностей процесса прессования травяной муки / Г. Я. Фарбман // Записки ЛСХИ. т. 230. - Л.-Пушкин, 1973. - С. 24-28.

148. Вольф И. И. О сенных пресах / И. И. Вольф, А. А. Чапкевич // Вестник металлопромышленности. – М., 1928, № 12.

149. Николаев Д. И. Исследование технологического процесса гранулирования травяной муки и оптимизация его основных показателей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Д. И. Николаев; - Ленинград-Пушкин, 1971. - 19 с.

150. Шаукентаев Ж. Т. Исследование процесса уплотнения сенокосомистых материалов и обоснование параметров уплотнителя к тракторным прицепах типа ПТС-40: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Ж. Т. Шаукентаев; Алма-Ата, 1971. - 25 с.

151. Голяновский А. В. Изыскание и исследование рабочего органа непрерывного действия для прессования сенокосомистых материалов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. В. Голяновский; - М., 1973. - 23 с.

152. Кузьменко В. Ф. Обоснование технологического процесса и параметров рабочих органов для формирования массы при секционном за полнении траншейных хранилищ: авторф. дисс. ... канд. техн. наук / В. Ф. Кузьменко; ННЦ «ИМЕСГ». - Глеваха, 1990. - 19 с.

153. Муратов А. М. Исследование влияния вибрации на сопротивление сена при прессовании: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. М. Муратов; - Алма-Ата, 1964. - 20 с.

154. Busse W. Untersuchungen auf dem Gebiet des Brikettierens von Halmgut. Grundlagen der Landtechnik, 1953, № 18, s.7-9.

155. Яговкин П. В. Разработка, исследования и обоснование непрерывного рабочего процесса штемпельного брикетного пресса: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / П. В. Яговкин; - Ленинград-Пушкин, 1982.

156. Щербина В. И. Обоснование технологического процесса, конструктивных параметров и режима работы конвейерно-вальцевого пресса для брикетирования кормосмесей: дисс. ... канд. техн. наук / В. И. Щербина; - зерноград, 1986. - 209 с.

157. Лысоконь В. П. Исследование гранулирования витаминной травяной муки плоской матрицей и коническими прессующими вальцами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В. П. Лысоконь; - Минск, 1970. - 22 с.

158. Хворостянов Л. И. Исследование и обоснование параметров отделителя стационарного выгрузчика консервированных кормов из траншей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Л. И. Хворостянов; Волгоградск. сельхоз. ин-т. - Волгоград, 1980. - 24 с.

159. Семенихин А. М. Механико-теоретические основы процессов и технологических средств производства силоса в горизонтальных хранилищах: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / А. М. Семенихин; ВНИПТИМЭСХ. - зерноград, 1998. - 49 с.

160. Зубрилин А. А. Силосование и технология кормов / А. А. Зубрилин. - М.: Колос, 1977. - 64 с.

161. Кожухов А. А. Исследование функциональных процессов в водопоглощающей щели с целью совершенствования технических средств и повыше-

ния качества технологии вертикального мульчирования почвы: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. А. Кожухов; - зерноград, 1982. - 21 с.

162. Муллер Р. А. Некоторые задачи статической механики грунтов // Математические методы в горном деле. Тр. конф. 4.2. - Новосибирск: Изд.-во АН СССР, 1963.

163. Детистова О. И. Разработка технологии и обоснование средств механизации приготовления силосованных кормов в малообъемных хранилищах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / О. И. Детистова; СтГАУ. – Ставрополь, 2003. – 20 с.

164. Семенихин О. В. Обоснование параметров и режима работы мобильного уплотнителя силосной массы: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / О. В. Семенихин; Азово-черноморская государственная агроинженерная академия. – зерноград – 2006. – 21 с.

165. Гуриченко Л. А. Совершенствование процесса уплотнения силосной массы в горизонтальных хранилищах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Л. А. Гуриченко; Азово-черноморская государственная агроинженерная академия. – зерноград – 2007. – 22 с.

166. Особов В. И. Механическая технология кормов. / В. И. Особов. – М.: Колос, 2009. – 344 с.

167. Самуль В. И. Основы теории упругости и пластичности / В. И. Самуль. - М.: Высшая школа. 1970, - 288 с.

168. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. – М.: Изд. литературы по строительству, 1971. – 368 с.

169. Гольдштейн М. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М. Н. Гольдштейн, А. А. Царьков, И. И. Черкасов. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.

170. Деграф Г. А. Влияние скорости резания на изменение напряжений в почве / Г. А. Деграф // Труды Казанского СХИ. – 1969. – т. 12. – С. 19-22.

171. Генералов М. Б. Механика твердых дисперсных пород в процессах химической технологии. / М. Б. Генералов. – Калуга.: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. – 592 с.

172. Кокорин В. Н. Теория и практика процесса прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа / В. Н. Кокорин, А. И. Рудской, В. И. Филимонов [и др.]. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 236 с.

173. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков / Г.М. Жданович. – М.: Metallurgia, 1969. – 264 с.

174. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

175. Ковбаса В. П. Моделирование распределения напряжений в почве под действием деформаторов / В. П. Ковбаса // Праці Таврійської держ. агро-техн. Академії – Мелітополь, 2001. – Вип. 2, т. 16. – С. 123-127.

176. Лурье А. И. Пространственные задачи теории упругости / А. И. Лурье. – М.: Гостехиздат, 1955. – 492 с.

177. Лурье А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940 с.

178. Папкович П. Ф. Теория упругости / П. Ф. Папкович. – К.: Оборонгиз, 1939. – 643 с.

179. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. – М.: Гос. Научн.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1957. – 336 с.

180. Самсонов Л. Н. Послойно-поверхностное фрезерование торфяной залежи и пути его интенсификации [Электронный ресурс]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.05 / Л. Н. Самсонов; – М.: РГБ, 2007. – (Из фондов Российской государственной библиотеки).

181. Панов И. М. Механико–технологические основы расчета и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами

[Электронный ресурс]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / И. М. Панов; – М.: РГБ, 2007. - (Из фондов Российской государственной библиотеки).

182. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е. С. Босой, О. В. Верняев, И. И. Смирнов [и др.]; под ред. Е. С. Босого – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с., ил.

183. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975 – 311 с., ил.

184. Канарев Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. / Ф. М. Канарев – М.: Машиностроение, 1983. – 142с., ил.

185. 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. – Минск.: БГАТУ, 2014. Ч2 – С70-75.

186. Мілько Д. О. Визначення основних параметрів шнекового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі / Д. О. Мілько // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43 Ч. II – С 200 - 205.

187. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. - М.: Машиностроение, 1972. - 184 с.

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

189. Мілько Д. О. Теоретичні дослідження руху матеріальної точки в просторі двошнекового ущільнювача / Д. О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. Вип. 144, 2014. С. 102-106.

190. Технология производства кормов / Авт.-сост. С. Н. Александров. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 235 с.

191. Nowak J. Pracochłonność sporządzania kiszzonek / J. Nowak, W. Przystupa, O. Miserque // Motrol, Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Tom 5. Lublin. 2003. 129-134.

192. Корма. Справочная книга / Под ред. М. А. Смурыгина. - М.: «Колос», 1977. – 368 с.

193. Дубовской И. И. Формирование и развитие эффективной системы кормопроизводства: теория, методология, практика: Автореф. докт. эконом. наук: 08.00.05 / И. И. Дубовской. – Курск: АПК ФГОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки, 2008. – 49 с.

194. Тен А. Г. Кормопроизводство / А. Г. Тен. – М.: Колос, 1982. – 463с.

195. Организационно-технологические нормативы производства продукции животноводства и заготовки кормов: сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. Наук Беларуси, Институт экономики НАН Беларуси, Центр аграрной экономики; разработ. В. Г. Гусаков [и др.] – Минск: Беларус. наука, 2007. – 283 с.

196. Геррман Х. Шнековые машины в технологии / Х. Геррман. Пер. с нем. Под ред. Л.М. Фридмана. - Л.: «Химия», 1975.

197. Груздев И. Э. Теория шнековых устройств / И. Э. Груздев, Р. Г. Мирзоев, В. И. Янков. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.

198. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія / Р.Б. Гевко, А.О. Вітровий, А.І. Пік. –Тернопіль: Астон. -2012. -202с.

199. Гемзе А. Л. Выбор основных параметров шнековых прессов для формирования строительных изделия из асбестоцементных масс [Электронный ресурс]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.16 / Л. А. Гемзе; – М.: РГБ, 2007. – 244 с.

200. Генералов М. Б. Механика твердых дисперсных пород в процессах химической технологии / М. Б. Генералов. – Калуга.: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. – 592 с.

201. Пат. 85026 Україна, МПК7 А01F 15/00 Бункерний віброущільнювач / Д.О. Мілько // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 201205122; Заявл. 22.04.2013; Опубл. 11.11.2013; Бюл. № 21. – 3с.

202. Мілько Д. О. Теоретичні дослідження продуктивності двошнекового ущільнювача з однобічним обертанням шнеків / Д. О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. Вип. 144, 2014. С. 102-106.

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

204. 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. 127-130.

205. Разработка конструкции рабочих деталей к ленточным прессам / Королев К. М. [и др.] - В кн.: Сборник аттестаций научно-исследовательских работ по строительству в 1951-1953. Москва, 1954.

206. Королев К. М. Исследование ленточных шнековых прессов пластического формования керамических изделий / К. М. Королев. – Москва.: ЦИНТИМаш, 1960.

207. Механическое оборудование для производства строительных изделий / Сапожников М. Я. [и др.]. - М.: Госстройиздат, 1958.

208. Ильевич А. П. Исследование влияния конструктивных и технологических параметров ленточного лопастного пресса на эффективность его работы: автореф дисс. ... канд. техн. наук / А. П. Ильевич. – М., 1954.

209. Сапожников М. Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий / М. Я. Сапожников. – М.: Машгиз, 1962.

210. Darnell W.H. – Mol E.A. J. : «SPE JOURNAL», v.12, №20. 1956.

211. Beck H. Strangpressen, “Kunststoffe” Bd. 43., №12 1953.

212. Бухгалтер З. И. Экструзия / З. И. Бухгалтер, С. И. Гецас [и др.]. – Л.: Химия, 1980.

213. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс: пер. с нем. / Под. Ред. А. Я. Шапиро. - Л.: Гос. научно-техническое издательство химической литературы, 1962. - 468 с.

214. Kim W. S. Plaste und Kautschuk / W.S. Kim, Skatschkow W.W., Stungur Ju.W. 1976. Bd. 22. №8. S. 16-26.

215. Kim W. S. Plaste und Kautschuk / W. S. Kim, Skatschkow W. W., Stungur Ju. W. 1973. Bd. 20. №9. S. 665-669.

216. Ким В. С. Исследование смешивающей способности экструзионных машин и разработка основ теории и методов расчета процессов смешения полимерных материалов в экструдерах: дис. ... д-ра техн. наук / В. С. Ким; - М.: МИХМ, 1979.

217. Константинов В. Н. Исследования влияния геометрических параметров червяков на производительность двухчервячного персса при грануляции некоторых термопластив: дисс. ... канд. техн. наук / В. Н. Константинов; - М.: МИХМ, 1963.

218. Кавецкий Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Ковецкий. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.

219. Кавецкий Г. Д. Процессы и аппараты пищевых технологий / Г. Д. Ковецкий. – М.: Колос, 2000. – 552 с.

220. Калошин Ю. А. Практикум по расчетам оборудования хлебопекарного и макаронного производств / Ю. А. Калошин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 158 с.
221. Махичин Ю. А. Современное оборудование в обработке пищевых материалов давлением / Ю. А. Махичин, С. Н. Панфилов, Г. П. Зурабишвили. – М.: ВЗПИ, 1991. – 308 с.
222. Медведев Г. М. Технология макаронного производства / Г. М. Медведев. – М.: Колос, 2000. – 270 с.
223. Николаев А. П. Процессы и аппараты пищевых производств. Примеры и задачи / А. П. Николаев. - К.: Высшая школа, 1991. – 336 с.
224. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Н. В. Остапчук. – К.: Высшая школа, 1991. – 366 с.
225. Чернов М. Е. Оборудование предприятий макаронной промышленности / М. Е. Чернов. – М.: Агропромиздат, 1988. - 262 с.
226. Мілько Д. О. Залежність продуктивності двошнекового живильника від швидкості обертання шнеків та щільності сировини / Д. О. Мілько, Р. І. Безпалов, С. М. Коломієць // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип. 7, т. 4. - 2007. – . 177 - 180.
227. Мілько Д. О. Теоретичні дослідження продуктивності двошнекового ущільнювача з однобічним обертанням шнеків / Д. О. Мілько // Вісник Українського відділення міжнародної академії аграрної освіти - Вип. 2. – Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2014. - С. 61 - 67.
228. Мілько Д. О. Обґрунтування конструктивно - технологічної схеми самозавантажувального кормороздавача з розширеними властивостями вивантаження / Д. О. Мілько // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 4. Т. 1. – С. 56 – 61. – Режим доступу: [<http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>].

229. Мілько Д. О. Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини / Д. О. Мілько // Научни трудове. Земеделска техника и технологии. Аграрни науки и ветеринарна медицина. Ремонт и надежность. Дизайн и эргономия / Русенски университет «Ангел Кънчев». - Т.15, серия 1.1. – Русе, 2015. С. 142 – 147.

230. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб: ГОСТ 27262-97. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 23 с.

231. Корма растительные. Методы определения содержания влаги: ГОСТ 27548-97. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 23 с.

232. Машини та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань: ДСТУ 46.007-2000. – К.: Мінагрополітики України, 2000. – 27 с.

233. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

234. Ковбаса В. П. Визначення механічних властивостей матеріалів шляхом дослідження коливань зразка / В. П. Ковбаса, Я. В. Коваль // Вібрації в техніці та технологіях. 2009. - №4 (56). – с. 92-96.

235. ГОСТ 23637-79. Сенаж. Технические условия. - Введ. 01.05.1980 - М.: Изд-во стандартов, 1980. -10 с.

236. ГОСТ 23638-79. Силос из зеленых растений. Технические условия. Введ. 01.05.1980. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 21 с.

237. ГОСТ 28305-89 Машини и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки и испытаний.

238. ОСТ 46-170-84. Силос из зеленых растений. Приготовление и хранение. Типовой технологический процесс. Введ. впервые. Введ. 01.09.85. -М.: Агропромиздат, 1987.- 17 с.

239. ОСТ 46-202-85 Сенаж. Приготовление и хранение. Типовой технологический процесс. Введ. 01.09.86. -М.: Агропромиздат, 1987.- 5 с.

240. КНД 46.16.01.05-93 Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення.

241. ОСТ 70.19.2–80 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний. Отраслевой стандарт. [дата введения 01.08.1984] / Государственный комитет СССР по производственно–техническому обеспечению сельского хозяйства. – М.: 1984. – 114 с.

242. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки на испытания: ГОСТ 28305-89. – [Введ. 1985–09–10]. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.

243. Бахан Н. И. Планирование эксперимента при исследованиях по механизации и автоматизации сельского хозяйства (учебн. пособ. для сельхозвузов) / Бахан Н. И., Дмитриев А. М., Нагорский И. С. – Горки. – 1986. – 80 с.

244. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

245. Митков А. Я. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Я. Митков, С. В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 390 с.

246. Пономарев В. Б. Математическое моделирование технологических процессов: курс лекций / В. Б. Пономарев, А. Б. Лошкарев. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 129 с.

247. Мілько Д. О. Методика експериментальних досліджень барабанного дозатору із комірковою поверхнею / Д. О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 15. Т.4. – С. 96 – 103.

248. Мілько Д. О. Методика експериментальних досліджень двошнекового ущільнювача / Д. О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. - Вип. 157, 2015. - С. 113-119.

249. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. Химия, Ленингр. отд., 1975. – 48 с.

250. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

251. Любченко Е. А. Планирование эксперимента: учебное пособие. Часть 1 / Е.А. Любченко, О. А. Чуднова. Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. -156 с.

252. Лапач С. М. Статистичні методи в медико–біологічних дослідженнях із застосуванням Excel / С. М. Лапач, А. В. Губенко, П. М. Бабіч – 2-е вод., перероб. і доп. – К.: МОРІОН, 2001. – 408 с.

253. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. Боровиков. – [2-е изд.]. (+CD). – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.: ил.

254. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения: ГОСТ Р ИСО 5479–2002. [Дата введения 2002.07.01]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – (Государственный стандарт Российской федерации).

255. Мастицкий С. Э. Методическое пособие по использованию программы Statistica при обработке данных биологических исследований / С. Э. Мастицкий. – Мн.: РУП “Институт рыбного хозяйства”, 2009. – 76 с.

256. Мілько Д. О. Тернарне представлення поверхні відклику трифакторного експерименту / Д. О. Мілько, Р. О. Бакарджиєв, І. Б. Комарова // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 15. Т.3. – С. 224 – 230.

257. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. – 5-е изд., доп. и перераб / Доспехов Б. А. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

258. Р. О. Бакарджиєв Попередня оцінка і обробка даних при регресійному аналізі / Р. О. Бакарджиєв, А. О. Комаров // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с-г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 28, – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 255-260.

259. Алієв Е. Б. Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Б. Алієв; - Вінниця, 2012. – 21 с.

260. Алієв Е. Б. Статистична оцінка показників роботи дозатора безперервної дії / Е. Б. Алієв, Р. О. Бакарджиєв // Збірник наукових праць Інституту олійних культур УААН. Вип. 21, Запоріжжя: 2015. – С. 43 – 50.

261. Линник Ю. О. Експериментальні дослідження режимних параметрів ротаційного пластинчатого вакуумного насоса НВ-1200 / Ю. О. Линник, С. І. Павленко, Е. Б. Алієв // Вісник Українського відділення міжнародної академії аграрної освіти - Вип. 2. – Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2014. С. 136 – 142.

262. Типовая методика определения качества смешивания кормов. – М. 29.055-87. [дата введення 30.09.1987]. – Дослідницьке: ВНИИМОЖ. – 1987. – 35 с.

263. Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных / В. Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 254 с.

264. Типовая методика ускоренных испытаний сушилок кормов типа АВМ на надежность М. 29.063-89. [дата введення 01.01.1990]. – Дослідницьке: ВНИИМОЖ. – 1989. – 38 с.

265. Фуфачев В. С. Повышение эффективности функционирования комбикормового агрегата путем совершенствования технологического процесса и рабочих органов дозатора : дисс...канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Фуфачев Вадим Сергеевич / Киров, 2009. – 188 с.

266. Мельников Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю. И. Мельников. - М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

267. Пирожков Д. Н. Обоснование конструктивно-технологических параметров шнекового смесителя непрерывного действия для сухих сыпучих ингредиентов комбикормов: дисс...канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Пирожков Дмитрий Николаевич / Барнаул, 1999. – 161 с.

268. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica / О. Ю. Реброва. – М., МедиаСфера, 2002, 312 с.

269. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учебное пособие для биолог. спец. вузов / Лакин Г. Ф. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

270. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения: ГОСТ 11.004–74 (СТ СЭВ 876–78). – [Введ. 01.07.1975]. – М.; Изд-во стандартов, 1981. – 20 с.

271. Типовая методика ускоренных испытаний сушилок кормов типа АВМ на надежность М. 29.063-89. [дата введения 01.01.1990]. – Дослідницьке: ВНИИМОЖ. – 1989. – 38 с.

272. Статистический словарь. - М.: Статистика, 1965, – 708 с.

273. Зайдель А. Н. Погрешности измерения физических величин / А. Н. Зайдель. – Л.; Наука, – 1985.

274. Адамчук В.В. Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України / В. В. Адамчук, А. Н. Прилуцький, А. С. Заришняк [та ін.] // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. – Вип. №99. – С. 40-56.

275. Черкун В. Я. Исходные требования к кормоприготовительным машинам / В. Я. Черкун // Научно-технический бюллетень по механизации и электрификации животноводства. Запорожье, 1989. – Вып. №32. – С. 75–81.

276. Мілько Д. О. Обґрунтування параметрів процесу ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі / Д. О. Мілько // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. – Вип. №98. – С. 89-95.

277. Матусевич В. Е. Дозирование корма в поточных линиях / В. Е. Матусевич, В. И. Найденев // Научно - технический бюллетень по механизации и электрификации животноводства. Запорожье, 1986. – Вып. №26 – С. 25–26.

278. Мілько Д.О. Моделювання кормових раціонів молочного поголів'я в стійловий період / Д. О. Мілько // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. – Вип. №99. – С. 550-559.

279. Кассандрова О. Н. Обработка результатов измерений / О. Н. Кассандрова, В. В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 104 с.

280. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. – 5-е изд., доп. и перераб. / Доспехов Б. А. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

281. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.: ил.

282. Дунин – Барковский И. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть) / И. В. Дунин – Барковский, Н. В. Смирнов. – М.: Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1955. – 558 с.

283. Пат. 26807 Україна МПК7 G01N 3/40 Прилад для визначення щільності консервованих кормів / Д. О. Мілько, Р. І. Безпалов, В. М. Забудченко // Інститут механізації тваринництва УААН. № 200704942; Заявл. 03.05.2007; Опубл. 10.10.2007; Бюл. №16. - 2 с.

284. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорелый. – К.: Техніка, 1981. – 176 с.

285. Ефимов Н. В. Квадратичные формы и матрицы / Н. В. Ефимов. – М.: Наука, 1967. – 160 с.

286. Корн Г. Справочник по математике для научных сотрудников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М., Наука, 1970. – 720 с.

287. Красовский П. С. Исследование и оптимизация свойств строительных материалов с применением элементов математической статистики: Учеб. пособие / П. С. Красовский. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 128 с.

288. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. Химия, Ленингр. отд., 1975. – 48 с.

289. Милько Д. А. Методы исследований физико-механических свойств растительного сырья / Д. А. Милько // Научни трудове на Русенския университет / Русенски университет "Ангел Кънчев". - Русе, 2015. - Т. 54, сер. 1.1 : Земеделска техника и технологии. Аграрни науки и медицина. Ремонт и надеждност. Дизайн и ергономия. - С. 142-147.

290. Зоотехнический анализ кормов: учебно – методическое пособие для студентов зооинженерного факультета и факультета ветеринарной медицины очной и заочной форм обучения / Л. А. Возмитель, Н. В. Козлова, Т. С. Кузнецова, О. Ф. Ганущенко. – Витебск: УО ВГАВМ, 2007. - 49 с.

291. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений / Х. Н. Починок. – К.: Наукова думка, 1976. – 336 с.

292. Справочник по контролю кормления и содержания животных / В. А. Аликаев, Е. А. Петухова, Л. Д. Халенева и др. – М.: Колос, 1982. – 320 с.

293. Зажигает Л. С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л. С. Зажигает, А. А. Китьян, Романников Ю. И. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.

294. Закс Л. Статическое оценивание / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 597 с.

295. Мельников С. В. Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин - Л.: Колос, 1972. - 200 с.

296. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. Боровиков. – [2-е изд.]. (+CD). – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.: ил.

297. Грешников В. А. Статистические методы обработки эмпирических данных / В. А. Грешников, В. Н. Волков, А. И. Кубарев. - М.: – Стандарты, 1978. Ашмарин И. П. Быстрые методы статистической обработки и планирования экспериментов / И. П. Ашмарин, Н. Н. Васильев, В. А. Амбросов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 76 с.

298. Ашмарин И. П. Быстрые методы статистической обработки и планирования экспериментов / И. П. Ашмарин, Н. Н. Васильев, В. А. Амбросов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 76 с.

299. Аністратенко В. О. Математичне планування експериментів в АПК: Навчальний посібник / В. О. Аністратенко, В. Г. Федоров. – Київ: Вища школа, 1993. – 375 с.

300. Бахан Н. И. Планирование эксперимента при исследованиях по механизации и автоматизации сельского хозяйства (учебное пособие для сельхозвузов) / Н. И. Бахан, А. М. Дмитриев, Нагорский И. С. – Горки. – 1986. – 80 с.

301. Безпалов Р. І. Критеріальна модель нерівномірності подачі дрібнодисперсних матеріалів / Р. І. Безпалов, Д. О. Мілько // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип. 14, т. 3. - 2014. – С. 210-216.

302. 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. 61-65.

303. Пат. 90743 Україна МПК7 А01К 5/00, А01D 23/00 Самозавантажувальний кормороздавач / Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський // Таврійський державний агротехнологічний університет. № 200803864; Заявл. 27.03.2008; Опубл. 25.05.2010; Бюл. № 10. – 3 с.