

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗАГОТІВЛІ
СІНА МЕТОДОМ АКТИВНОГО
ВЕНТИЛЮВАННЯ**

Виконав: _____ Ященко Максим Юрійович

Керівник: _____ Кобець Анатолій Степанович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
 Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: "Бакалавр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри тракторів і
сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„_____” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

керівник роботи _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “_____” _____ 20__ року
 № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5. Перелік демонстраційного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

А Н О Т А Ц І Я

Ященко М.Ю. Удосконалення механізації заготівлі сіна методом активного вентилявання// Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026. – 77 с.

В роботі представлено аналіз технологій заготівлі сіна і машин для їх реалізації. Проведено патентний аналіз способів і машин для заготівлі грубих кормів. Визначено основні проблеми при заготівлі сіна. Розроблено схему удосконалення технології заготівлі із застосуванням активного вентилявання для досушування сіна з використанням геліопідігрівачів повітря. Проведено розрахунки параметрів і режиму запропонованого обладнання. На підставі розрахунків розроблена конструкція окремих вузлів і деталей .

Розроблені заходи з охорони праці, які можуть бути використані при проведенні інструктажів при заготівлі кормів і підвищать рівень безпеки працівників при виконанні технологічних операцій.

Річний економічний ефект від застосування розробок на практиці становить 78803,7 грн. При цьому затрати окупаються протягом першого року експлуатації розробок.

Ключові слова: корми, сіно, машини, технології, геліопідігрів, удосконалення, параметри, охорона праці, економічний ефект.

З М І С Т

В С Т У П.	6
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МАШИН ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ СІНА.	10
1.1 Технології заготівлі пресованого сіна.	10
1.2 Заготівля подрібненого сіна.	21
1.3 Технології заготівлі розсипного сіна.	22
2 АНАЛІЗ ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ І ВИБІР НАПРЯМКУ	
УДОСКОНАЛЕННЯ ГЕЛІОСУШАРКИ.	29
3 ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ СУШІННЯ СІНА.	38
4 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОЗРОБКИ.	45
5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНОГО ГЕНЕРАТОРА З	
АКУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛА.	47
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.	54
6.1 Охорона праці на машинно-тракторному парку.	54
6.2 Охорона праці при заготівлі сіна.	57
7 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ.	62
7.1 Розрахунок вартості встановлення будівлі.	62
7.2 Розрахунок економічних показників.	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.	67
ДОДАТКИ.	70

ВСТУП

У ринкових умовах будь-яке господарство прагне отримати заплановану кількість продукції з мінімальними фінансовими затратами і, як результат, мати максимальний прибуток. Зокрема тваринницька галузь має давати відповідно до норм 85 кг м'яса (у США – 103 кг) та 405 кг молока на одного жителя України [1]. На жаль, ми виробляємо лише близько половини від потреби. Висока ресурсозатратність і, відповідно, низька рентабельність, а то й істотна збитковість тваринницької галузі спричиняють зменшення виробництва, з одного боку, і збільшення ціни – з іншого. За даними Держстатистики [2] кількість великої рогатої худоби станом на 1 червня 2019 року становить 3 млн. 739 тис. (у тому числі корів — 1 млн. 925,8 тис.). Порівняно з аналогічним періодом 2018 року загального поголів'я ВРХ стало менше на 3,9%, а корів — на 4,3% (тоді було 3 млн. 890,1 тис. ВРХ, у тому числі корів — 2 млн. 12,7 тис.). Виробництво молока також має тенденцію до зниження. Зокрема, станом на січень-травень 2019 року загальне виробництво становить 3 млн. 788,5 тис. т, що на 2,8% менше ніж у 2018 році (3 млн. 898,7 тис. т). Частка виробництва молока підприємствами становить 1 млн. 174 тис. т, що на 0,7% менше порівняно з 2018 роком. Виробництво молока господарствами населення — 2 млн. 724,7 тис. т, що на 3,7% менше.

У сільському господарстві України до 70% ресурсовитрат пов'язано з виробництвом тваринницької продукції, 60-70% якої дає ВРХ. Це стримує зростання обсягів тваринницької продукції. Для ліквідації „ножиць” між затратами та ціною продукції використовують державні дотації або зменшують собівартість продукції. У структурі собівартості тваринницької продукції до 70% становлять корми. Тому щонайефективніше і щонайістотніше можна зменшити собівартість одиниці продукції зменшенням

витрат на виробництво кормів, з яких 90% припадає на стеблові – сіно, сінаж, силос і зерносінаж.

До війни в Україні заготовляли щорічно 8 – 10 млн. тон сіна та 10 – 12 млн. тон сінажу. Основу сировинної бази цих кормів складають багаторічні злакові та бобові трави. Сіно – один із основних видів корму в зимовий стійловий період утримання тварин і особливо великої рогатої худоби. В 1 кг якісного лучного сіна містяться всі поживні речовини, необхідні для повноцінної годівлі (0,42 корм. од., 48 г перетравного протеїну, 30 мг каротину), в 1 кг сіна із конюшини з тимофіївкою – 0,46 корм. од., 58 г перетравного протеїну, 25 мг каротину [2].

Молочні господарства після повномасштабного вторгнення росії в Україну 24 лютого були вимушені виживати і працювати в абсолютно нових умовах. Часто доводилося адаптуватися і швидко знаходити альтернативні рішення різного роду проблем, що виникали на фермі [3].

Важливим аспектом роботи господарств в умовах війни стала вимушена зміна раціонів задля зменшення продуктивності корів. При цьому не менш важливо було зберегти здоров'я та життя стада.

Заготівля сіна в умовах війни в Україні ускладнена дефіцитом техніки, палива, людських ресурсів та безпековими ризиками (міни, обстріли). В таких умовах рекомендовано максимально використовувати закриті приміщення для зберігання (втрати 4-7%) замість відкритого ґрунту (втрати 25-35%), оперативно діяти за графіком, використовувати прес-підбирачі для тюкування та зважати на безпеку персоналу. А також використовувати технології, які дозволяють максимально скоротити строки сушіння скошених трав.

Сільськогосподарське виробництво має в розпорядженні значну кількість технологій заготівлі сіна і сінажу. Але яка б не була між ними різниця, невід'ємним процесом будь-якої технології є сушіння трави в польових умовах. Цей процес супроводжується не тільки втратою рослинами вологи, але і поживних речовин за рахунок протікання біохімічних процесів, розвитку мікроорганізмів, вимивання опадами. Розміри цих втрат зростають із

збільшенням тривалості польового сушіння. Знизити їх можливо шляхом інтенсифікації цього процесу.

Найбільш розповсюдженим способом прискорення сушіння скошеної трави є ворухіння прокосів, їх згрібання та перевертання валків. Застосування цих операцій в технологіях заготівлі сіна та сінажу дозволяє не тільки в 1,3 – 2,0 рази прискорювати процес сушіння скошеної трави, але й одержувати рівномірну за вологістю прив'ялену масу. Для виконання цих робіт використовують колісно-пальцеві, ротаційні, барабанні та інші сіноворушилки. Особливої уваги заслуговують ротаційні граблі-ворушилки. Принаджують вони простотою конструкції, низькою металоємкістю та надійним виконанням технологічного процесу.

Дія робочих органів граблів-ворушилок та підбирачів на прив'ялену траву неминуче призводить до оббивання і втрачання найбільш цінних, в кормовому відношенні, частин рослин – листків, бутонів, суцвіть та верхніх стебел рослин. Особливо це проявляється при заготівлі сіна з прив'ялених бобових трав. При виконанні цих операцій втрати можуть досягти 20 % маси вихідної сухої речовини трави [4]. Це не тільки зменшує збір сіна, але й суттєво впливає на його цінність, тому що втрачені частини рослин за вмістом поживних речовин в 2 – 3 рази перевищують стебла.

Вміст поживних речовин в сіні та сінажі в значній мірі залежить від тривалості польового сушіння скошених трав. При сприятливих погодних умовах та чіткій організації збиральних робіт тривалість цього процесу залежить від застосування тієї чи іншої технології заготівлі. Заготівля сіна – найпоширеніший і найбільш старовинний спосіб консервування трав. За багаторічну історію існування цього способу відпрацьовано ряд раціональних схем, які дозволяють заготовляти сіно в розсипному, пресованому та подрібненому вигляді.

Механізовану заготівлю подрібнених стеблових кормів здійснюють кормозбиральними комбайнами, забезпеченість яких становить 60-70%, причому майже в 40% із них вийшли амортизаційні терміни. Системний аналіз

свідчить, що розв'язати проблему забезпечення сільського господарства капіталомісткою зарубіжною кормозбиральною технікою ми не зможемо, оскільки на її придбання потрібно майже 30 млрд. грн. [1].

Ще одним дієвим способом скорочення строків сушки сіна до необхідної вологості є застосування технології, яка передбачає активне вентилявання скошеної маси в приміщеннях для зберігання.

Метою даної дипломної роботи і є удосконалення механізації заготівлі сіна з обґрунтуванням активного вентилявання підігрітим сонячною енергією повітрям.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МАШИН ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ СІНА

На сучасному етапі в Україні розроблено і застосовуються в залежності від умов господарства різні технології заготівлі сіна. Серед них найбільш поширені технологія заготівлі розсипного сіна, пресованого сіна, подрібненого сіна, заготівлі сіна з внесенням консервантів, з досушуванням у сховищах активним вентиляванням і ін. Ці технології в свою чергу діляться на групи в залежності від методів і машин для виконання технологічних операцій.

1.1 Технології заготівлі пресованого сіна

Заготівля пресованого сіна вважається одним із прогресивних способів, який отримав широке розповсюдження в багатьох країнах світу. Наприклад в США, об'єм заготівлі такого сіна становить 90 %, в Англії, Франції, Німеччині – 70 - 80 % [11]. В Україні у пресованому вигляді заготовляють незначну кількість сіна – у вигляді малогабаритних паків і рулонів.

Технологія заготівлі пресованого сіна має вагомі переваги перед технологією заготівлі розсипного сіна: менші польові втрати завдяки скороченню технологічних операцій, менші втрати під час зберігання, оскільки, завдяки більшій щільності маси, її економічно вигідно зберігати в пристосованих приміщеннях (пресоване сіно за об'ємом у 1,5-2,0 рази компактніше, ніж розсипне), менший рівень затрат праці (на 15 – 18 %) та палива (в межах 10 – 40 %), можливість повної механізації технологічних процесів тощо.

Основними технологічними операціями під час заготівлі сіна є скошування трав у покоси чи розширені валки (з плющенням чи без нього), згрібання ворущіння та перевертання валків, підбирання сіна з валків, перевезення до місць складування і скиртування (у разі заготівлі розсипного сіна) чи підбирання з пресуванням у паки чи рулони й транспортуванням до місць складування.

Рисунок 1.1 – Косарка ротаційна пасова KPP-1,8 виробництва
ЛЬВІВХІМСІЛЬГОСПМАШ

Рисунок 1.2 – Косарка дискова KUHN GMD SELECT

Рисунок 1.3 – Косарка дискова начіпна 1082 С фірми IDASS

Для скошування трав з одночасним плющенням застосовують самохідні косарки-плющилки типу Е-303, КПС-5Г, КПК-3000 (рис. 3.1) тощо. Згадані косарки-плющилки різняться потужністю двигуна та шириною захвату жнивarki. Повнота плющення трав косарками-плющилками становить 97-100 %, що відповідає агротехнічним вимогам (не менше 90%). Втрати від зависокого зрізування та не зрізаних рослин становлять 0,6-2 %, що також відповідає агротехнічним вимогам (не більше 2%).

Широко застосовують для косіння трав на сіно навісні, а також причіпні косарки. Як свідчить світовий досвід, останнім часом найбільшого поширення дістали ротаційні косарки, які виробляють типорозмірними рядами з шириною захвату від 1,2 до 5 м та інтервалом у ряді 0,1-0,3 м. Є косарки й з більшою шириною захвату, наприклад, косарка BNG 630 фірми Kuhn – 619 см, косарки моделей „Корто” і „Диско” фірми Claas – до 815 см, „БігМ” фірми Krone – 900 см.

Рисунок 1.4 – Косарка дискова фронтальна CORTO фірми CLAAS

Для підвищення продуктивності агрегату та ефективного використання потужності трактора поряд із збільшенням ширини захвату косарки (саме 3-брусна косарка „Корто” чи „БігМ”) широко практикується використання уніфікованих рядів задньонавісних і фронтальних косарок в одному агрегаті.

Косарки можуть обладнуватися валкоутворювачами як пасивними, так і активними, як, наприклад, косарки фірми MBA (Німеччина), Niemejer (Німеччина), Claas (Німеччина), - у вигляді дисків.

Рисунок 1.5 – Причіпна двосекційна дискова косарка фірми FELLA

Рисунок 1.6 - Робота роторної косарки-плющилки GMS 3200
фірми JF з різними варіантами утворення валків

Кондиціонери, що застосовують у ротаційних косарках, здебільшого динамічного типу (барабани з шарнірно підвішеними пальцями). Порівняно з пасивними плющильними апаратами, що застосовуються здебільшого на самохідних косарках-плющилках (ребристі валки), активні кондиціонери є досконалішими: руйнуючи оболонку стебла, вони водночас створюють більш спушений покis чи валок, більш надійні в технологічному плані, менш чутливі

до нерівномірності подачі скошеної маси. Водночас їх доцільніше застосовувати на злакових травах. Для бобових трав раціональніше застосовувати косарки з пасивними плющильними апаратами. При цьому для створення більш м'якого режиму роботи й зменшення втрат листя і суцвіть деякі фірми (наприклад John Deere, Krone) застосовують у косарках плющильні апарати з обгумованими валками. Привод робочих дисків майже на всіх косарках здійснюється через зубчасті передачі, розміщені в картері з оливою, на відміну від раніше застосовуваних верхніх карданних і клинопасових передач.

Зазвичай, косарки обладнані запобіжними пристроями для уникнення поломок у разі наїзду на сторонні предмети.

В Україні для косіння трав серійно виготовляють ротаційну косарку КРС-2,0 (КП „Київтрактордеталь”), а також існують розробки інших організацій як ротаційних, так і пальцево-сегментних косарок – КРР-1,8 (ГСКТБ „Львівсільгоспхіммаш”), КР-1 Коростенського заводу шляхових машин, КОН-2,1 ВАТ „Білоцерківсільмаш” тощо. Ширина захвату всіх цих косарок не перевищує 2,1 м.

Крім того, АТ „Атек” освоює виробництво самохідних косарок-плющилок КС-5, ВАТ „Червона зірка” – самохідних косарок-плющилок СКП-02. За конструкційним виконанням обидві косарки взагалі аналогічні косарці Е-303 і різняться одна від одної, здебільшого, приводом робочих органів – механічний у КС-5 і гідростатичний у СКП-02.

Для згрібання скошеної маси у валки й для обертання валків задля прискорення їх висихання можуть бути застосовані валкообертачі самохідних косарок-плющилок, граблі універсальні роторні тощо.

Зарубіжні фірми (Kuhn, Fransgaard, Claas тощо) виробляють широкий спектр навісних і причіпних машин для згрібання та ворущіння сіна з шириною захвату в діапазоні: ворущило – від 3 до 8,5 м, валкоутворювачів – від 2,6 до 13,5 м. Це машини ротаційного типу, споживана потужність – від 18 до 49 кВт (25-65 к.с.).

*a**б*

Рисунок 1.7 - Граблі-ворушилки (однороторні) з фронтальною навіскою (*a*) і двороторні із задньою навіскою (*б*) LINER фірми CLAAS

Рисунок 1.8 – Граблі-ворушилки роторні DRIVE 782 Hydro
фірми STOLL і схема їх роботи

У сучасних зарубіжних машинах простежується їх багатофункціональність і універсальність: одна й та сама машина в змозі згрібати прокоси з утворенням валків, здвоювати чи навіть строювати їх, перевертати, ворушити. Машини є як причіпні та задньонавісні, так і фронтальні. Наявність фронтального здвоювача валків дає змогу значно підняти продуктивність на заготівлі сіна завдяки застосуванню комбінованих агрегатів, до складу яких, наприклад, входить фронтальний здвоювач валків і причіпна машина для підбору валка (прес-підбирач, візок-підбирач).

Рисунок 1.9 – Двоторні граблі-ворушилки GA 6000 фірми KUNN

В Україні для згрібання та ворущіння сіна серійно виробляють граблі універсальні роторні ГУР-4,2 (КП „Київтрактордеталь”), граблі-ворушилки-валкоутворювачі ГЗВ-2,0 та граблі-валкоутворювачі ГВ 00.000 (ВАТ „Завод Львівсільмаш”), граблі-ворушилку SP4-205 (ВАТ „Ковель-сільмаш”). Коротка технічна характеристика цих машин приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Коротка технічна характеристика вітчизняних машин для згрібання та ворущіння сіна

Показник	ГУР-4,2	ГЗВ-2,0	ГВ 00.000	S34-205
Продуктивність, га/год	3,5	0,8 - 1,6	1,1 – 2,5	4,5 – 4,8
Ширина захвату, м	4,2	1,2	3,3	До 4
Робоча швидкість, км/год	9	До 14	10	15
Агрегатується, клас трактора	1,4	1,4	0,6 – 1,4	0,9 – 1,4

Існує декілька технологій заготівлі пресованого сіна, які передбачають

пресування його в тюки або рулони. Кожна із технологій включає скошування трави і рівномірне її висушування. При вологості 55 - 45 % траву згрібають в валки і досушують до необхідної, в залежності від застосування тієї чи іншої технології, вологості.

Рисунок 1.10 – Прес-підбирачі для формування тюків QUADRANT 1200
і рулонів ROLLANT 66 фірми CLAAS

Найбільш розповсюдженими є технології, які передбачають висушування трави в валках до вологості 20 - 22 або 25 - 30 %. В першому випадку траву з валків підбирають і пресують в тюки або рулони, які укладають на зберігання. В другому випадку траву пресують в тюки, щільність яких не перевищує 140 кг/м^3 і залишають в полі на 2 - 3 дні для досушування [11, 15].

Необхідно відмітити, що практикування таких технологій не дає добрих результатів. Прив'ялювання трави в полі до низької вологості призводить до

збільшення тривалості заготівлі, а підбирання і пресування трави низької вологості спричиняє збільшення механічних втрат. Досушування тюків в полі подовжує тривалість збирання і збільшує залежність його від погодних умов.

а

б

Рисунок 1.11 – Прес-підбирачі для формування тюків LB 12000 VARIO (*а*) і рулонів RF 120 (*б*) фірми VICON

При досушуванні тюкованого сіна активним вентиляванням, траву з валків підбирають при вологості 30 - 35 % і пресують з щільністю 100 - 120 кг/м³ [11, 15]. Досушують тюки в закритих приміщеннях (сіносховищах) або на відкритих площадках, використовуючи для цього те ж обладнання, що і для розсипного сіна. Важливе значення при цьому має порядок формування скирти [11], тому що при невірному укладанні тюків повітря проходить між ними і вентилявання не дає ефекту. Сіно в тюках зігрівається і пліснявіє.

Рисунок 1.12 – Рулонний прес-підбирач 582/592 фірми John Deere

Рисунок 1.13 – Самозавантажний транспортер SP-K31 для
перевезення великогабаритних тюків

Цікавим є досвід заготівлі пресованого сіна в коротких тюках довжиною 0,4 - 0,45 м. Щільність пресування таких тюків не перевищує 135 кг/м^3 . Тюки укладають на вентиляційну систему не впритул, а насипом. Це скорочує затрати праці на формування скирти.

Недоліком досушування пресованого сіна є те, що вентиляється, в основному, зовнішня поверхня тюків. Рух повітря в середині тюка незначний.

Через це при досушуванні тюкованого сіна спостерігаються випадки появи цвілі в середині тюків. Важко також визначити строк закінчення вентильовання штабеля і готовність його для довготривалого зберігання [15].

Останнім часом розповсюдження одержала заготівля сіна в рулонах з використанням рулонних преспідбирачів з постійною (ПР-Ф-750) і змінною (ПРП-1,6) камерою пресування. Переваги цієї технології перед заготівлею сіна в тюках заключаються в більш повній механізації заготівлі, зниженні затрат праці і собівартості. Рулонні преси простіші за конструкцією і менш енергоємні, ніж поршневі [11].

Стимулюючим фактором більш широкого розповсюдження технології заготівлі сіна в рулонах є низька вологість (17 - 22 %) пресуємої трави. Формування рулонів із сировини, вологість якої перевищує вказану межу, призводить до зниження кормової цінності сіна. Пов'язане це з тим, що досушити активним вентильованням траву спресовану в рулони на обладнанні, яке використовується для досушування розсипного або пресованого в тюки сіна, є практично неможливим.

Заготівля пресованого сіна підвищеної вологості – відносно нове направлення в кормовиробництві. Суть цього способу заготівлі заключається в тім, що для пригнічення життєдіяльності шкідливих мікроорганізмів, які знаходяться в рослинній масі, вносять хімічні препарати (консерванти). Це запобігає псуванню сіна і забезпечує зниження втрат при заготівлі з 27 - 30 % до 15 - 20 %.

Технологія заготівлі сіна підвищеної вологості з використанням консервантів включає всі операції, які входять до складу звичайної технології заготівлі пресованого сіна. При цьому їй властиві ряд додаткових операцій, пов'язаних з приготуванням робочого розчину, заправкою агрегату і внесенням його в траву.

Недоліком технології заготівлі хімічно консервованого сіна в рулонах є те, що при підбиранні трави вологістю вище ніж 30 %, дія консервантів може виявитись ненадійною [11, 15].

1.2 Заготівля подрібненого сіна

При заготівлі подрібненого сіна створюються можливості повної механізації робіт, починаючи від скошування і до роздавання корму тваринам.

Операції по скошуванню трави і її сушінні в полі при заготівлі подрібненого сіна аналогічні і здійснюються тим же комплексом машин, що і при заготівлі розсипного або пресованого сіна. Відмінність заключається в тому, що прив'ялену траву під час підбирання подрібнюють, завантажують в транспортні засоби і доставляють до місця зберігання або досушування. В першому випадку траву подрібнюють при вологості 20 - 25 %, а в другому – 35 - 45 %.

При підбиранні трави вологістю 20 - 25 % її подрібнюють на частки довжиною 0,10 - 0,12 м і закладають на зберігання в бетонованих сховищах. При сіно ущільнюють, герметизують поліетиленовою плівкою і шаром землі [11, 15].

Траншейна технологія заготівлі подрібненого сіна може бути застосована лише для закладання сіна із злакових трав. Що стосується бобово-злакових і бобових, то втрати листя при підбиранні і подачі подрібненої маси в причепи або кузови автомобілів є досить високими. Через це А.М. Дравінінкас і інші вважають, що заготівля подрібненого сіна доцільна при вологості трави 40 - 45 %.

а

б

Рисунок 1.14 – Підбирачі-подрібнювачі FCT800 (*а*) і FCT1100 фірми JF

Досушування подрібненої трави здійснюють як на відкритих площадках, так і в сіносховищах хлівного або баштового типів.

Із аналізу технологій заготівлі сіна видно, що розроблено і використовується в сільськогосподарському виробництві значна кількість (більше ніж 10) різноманітних технологій. Але яка б не була між ними різниця, зазначені вище технології можна розділити на дві групи. До першої групи технологій відносяться технології, які передбачають сушіння трав до кондиційної вологості (17 - 18 %) в польових умовах. До другої групи належать технології, згідно яких траву в польових умовах прив'ялюють до вологості 45 - 30 %, а остаточне висушування її здійснюють активним вентиляванням.

1.3 Технології заготівлі розсипного сіна

В сільському господарстві України розроблено і застосовується декілька механізованих технологій заготівлі розсипного сіна, які передбачають повне (до вологості не вище 22 %) або часткове (до вологості не вище 45 %) висушування трави в польових умовах.

Технологія заготівлі розсипного сіна нескладна, дає змогу обходитися комплексом більш простих машин. Проте водночас вона має низку істотних вад, основними з яких є значні затрати праці, особливо ручної, та витрати енергії. Технологія зумовлює значні втрати поживних речовин унаслідок збільшення кількості технологічних операцій. Значна кількість сіна втрачається і з його зберіганням в укладених на землі й нічим не захищених від дії атмосферних чинників скиртах: за даними досліджень, товщина шару тією чи іншою мірою зіпсованого сіна становить: біля землі – до 0,50 м, із боків – 0,10-0,15 і зверху – 0,30-0,50 м [6].

Найменш досконалою технологією заготівлі розсипного сіна є технологія заготівлі його з копнуванням. Згідно цієї технології [6], траву скошують, а якщо в травостой є бобові трави, то відразу плющать і залишають для прив'ялювання до вологості бобових не нижче 50, а злакових трав – 45 %.

Щоб прискорити процес прив'ялювання, траву ворують, коли вона досягне зазначеної межі вологості, її згрібають у валки, в яких трава досушується до вологості 30 - 35 %. Після чого її укладають в копиці для подальшого висушування. Одержане таким чином сіно завантажують у транспортні засоби, відвозять до місця зберігання і укладають в скирту.

Основним недоліком цієї технології є розтягування строків заготівлі, а це збільшує імовірність попадання прив'яленої трави під опади. Копиці, утворені волокушами або підбирачами-копицеутворювачами, у випадку попадання їх під дощ, легко промокають на значну глибину. Через це після закінчення дощу і висихання поверхневого шару, копиці необхідно розкидати для сушіння, причому розкидати їх необхідно і в тому випадку, коли трава в них сушиться повільно. Це призводить до збільшення затрат праці і механічних втрат. Крім того, заготівля розсипного сіна з копнуванням багатоопераційна, а відтак трудомістка.

Більш досконалою є технологія, згідно якої траву досушують в валках до вологості 20 - 22 %, після чого сіно з валків підбирають і доставляють до місця скиртування.

Підбирання сіна з валків з одночасним завантаженням його в транспортні засоби або копицеутворювач, минаючи копнування, дозволяє майже в два рази зменшити затрати праці і на третину знизити експлуатаційні витрати на кожну тону сіна [6].

Головним недоліком цієї технології, як і попередньої, є те, що вона передбачає повне висушування трави в польових умовах, а це пов'язане із значними втратами поживних речовин, які можуть досягати 35 - 50 % від вмісту їх в траві [5, 6].

Для підбирання валків сіна і заготівлі його в розсипному вигляді можуть застосовуватися різноманітні копнувачі-підбирачі, копицевози, навісні волокуші. Прогресивними та сучаснішими є спеціалізовані візки-підбирачі, які підбирають масу з валків, подрібнюють (у разі потреби) і нагромаджують її у кузові, транспортують до місць складування. Вони можуть застосовуватися

для підбирання сіна, пров'яленої трави, соломи.

Такі машини виробляють багато всесвітньо відомих фірм – Claas, Krone, Deutz Fahr (Німеччина), Pottinger (Нідерланди), Case (США) тощо.

Виготовляються такі машини типорозмір ними рядами з широким діапазоном місткості кузова – від 14 до 50 м³ і більше.

Основні узагальнені показники візків-підбирачів-подрібнювачів деяких фірм наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Узагальнені показники візків-підбирачів-подрібнювачів деяких зарубіжних фірм

Фірма-виробник	Місткість кузова, м ³	Ширина за-хвату підби-рача, м	Довжина різки, мм	Ходова система
Claas, Німеччина	14,6 – 40,0	1,6	45 - 60	Одновісна, тандем
Case, США	14,5 – 43,0	1,55 – 1,65	38 - 230	Одновісна, тандем
Pottinger, Нідерланди	15,0 - 45,0	1,55 – 1,65	40	Одновісна, тандем
Krone, Німеччина	40,0 – 48,0	1,65	40 - 100	Тандем
Massey Ferguson, Вели-ка Британія	37,0 – 47,0	1,60	40	Тандем
Kemper, Німеччина	22,0 – 41,0	1,60	50 - 100	Одновісна, тандем
Hagedorn, Німеччина	22,0 – 50,0	1,60	100-400	Тандем
Deutz Fahr, Німеччина	27,0 – 37,0	1,60	40 - 50	Тандем

Виходячи з одного і того самого функціонального призначення, машини різних фірм за загальним компануванням близькі між собою і різняться лише виконанням окремих вузлів і агрегатів. На загал візки-підбирачі містять такі вузли та агрегати: раму, причіпну сницю, ходову частину, підбирач із подрібнювальним апаратом, кузов, вивантажувальний пристрій. Їх можуть

виготовляти з дозувальним пристроєм для роздавання корму в годівниці або ж без нього.

Рисунок 1.15 – Візок-підбирач SPRINT 4000S фірми CLAAS

Рисунок 1.16 – Візок-підбирач CARGO S9000 фірми KEMPER

Виходячи з одного і того самого функціонального призначення, машини різних фірм за загальним компануванням близькі між собою і різняться лише виконанням окремих вузлів і агрегатів. На загал візки-підбирачі містять такі вузли та агрегати: раму, причіпну сницю, ходову частину, підбирач із подрібнювальним апаратом, кузов, вивантажувальний пристрій. Їх можуть виготовляти з дозувальним пристроєм для роздавання корму в годівниці або ж без нього.

Рама із сницею може бути виконана як одне ціле, але у багатьох модифікаціях вони з'єднані між собою шарнірно. Завдяки цьому з допомогою гідроциліндрів машина може переводитися з робочого положення в транспортне і навпаки.

Ходова частина може бути, залежно від вантажопідйомності машини, одновісна чи двовісна типу „тандем”.

Кузови зварні, дещо звужені донизу, розміри їх залежать від місткості. Можуть мати відкидні або знімні верхні частини бортів. Для запобігання втратам урожаю з переповненням кузова його верхня частина перекрита поздовжніми синтетичними канатами, натягнутими з інтервалом 10-15 см.

Підбирачі з подрібнювальним апаратом навішені в передній частині рами, перед кузовом. Підбирачі – класичної схеми, барабанно-пальцеві. Ширина їх захвату в різних моделях машин коливається в межах 1,55 – 1,65 м.

Подрібнювальні пристрої сучасних машин переважно барабанного типу, містять барабан із жорстко встановленими ножами чи з ножами, закріпленими на шарнірних граблинах з ексцентриковим приводом, і блок нерухомих ножів, які встановлені в проміжках між рухомими. Ножі на барабані можуть бути встановлені в прямому ряді чи по спіралі для врівноваження навантаження на барабан, як, наприклад, у моделях фірми Case, Krone.

Для запобігання аварійним поломкам подрібнювального апарата кожний нерухомий ніж має свій автономний запобіжний пристрій. Крім того, подрібнювальні апарати мають гідрофіковані пристрої для переведення блоку нерухомих ножів із неробочого положення в робоче і навпаки, завдячуючи

чому можна підбирати масу з дальшим подрібненням чи без нього. Ступінь подрібнення маси (середня теоретична довжина різки) у більшості машин відповідно до проектних даних фірм становить 40-50 мм, але в деяких машинах вона має більший діапазон – 38-230 мм у машин фірми Case, 50-100 мм – фірми Kemper, 40-160 мм – фірми Krone.

Значно зменшити втрати поживних речовин в порівнянні з технологіями заготівлі сіна польового сушіння дозволяє активне вентилявання. При заготівлі сіна за цією технологією прив'ялену до вологості 45 - 35 % траву збирають з поля і досушують в місцях зберігання на спеціально виготовлених повітророзподільниках, шляхом продування через шар трави атмосферного або підігрітого повітря [11, 16].

Скорочення втрат поживних речовин відбувається за рахунок зменшення тривалості перебування трави в полі, та механічних втрат. Зв'язано це з тим, що в цьому випадку траву підбирають ще вологою, і втрати листя при цьому набагато менші, ніж при підбиранні сухої трави. Тому активне вентилявання особливо ефективно при заготівлі сіна із бобових трав. За літературними даними [11, 16] застосування активного вентилявання підвищує поживність сіна на 20 - 30 %.

Найбільш трудомісткою операцією заготівлі сіна з досушуванням активним вентиляванням є укладення трави на досушування. Сформований штабель повинен мати рівномірну щільність і однакову висоту. При недотриманні цього трава висихає не рівномірно, що призводить до утворення осередків цвілі [11].

Необхідно відмітити, що досушування трави вентиляванням атмосферним повітрям є відносно енергоємним процесом, тому що для отримання 1 т сіна з трави, яка має вологість 35 - 40 %, необхідно витратити біля 120 кВт.год. електроенергії [11]. Крім того, цей процес є ефективним при вологості повітря менш ніж 75 - 70 %. Через це добова тривалість ефективного вентилявання в більшості випадків не перевищує 5 - 8 год. Це спричиняє збільшення тривалості досушування, а відтак і втрат. Для інтенсифікації

досушування підігрівають повітря перед його нагнітанням в скирту. Відомо, що підвищення його температури на 1°C знижує відносну вологість на 5 % і відповідно збільшує вологовбирну здатність на $0,25 \text{ г/м}^3$.

Для підігрівання атмосферного повітря використовують електрокалорифери, або підігрівачі, які працюють на рідкому паливі (ВПТ-600, ТАУ-0,75, ВПТ-400). Необхідно відмітити, що такий спосіб інтенсифікації досушування є досить енергоємним, через те що приводить до витрачення від 30 до 40 кг нафтопродуктів на тонну сухого сіна [11].

В останні роки, з метою зниження затрат енергії на підігрівання повітря, розроблено ряд пристроїв [11, 12, 16], які перетворюють сонячну енергію в теплову. Це дозволяє суттєво збільшити продуктивність сушильного обладнання без додаткових затрат енергії, але через низьку надійність і довговічність, ці пристрої поки що не знайшли широкого розповсюдження. Крім того, при цьому необхідні додаткові будівельні роботи і площі для розміщення сонячних батарей, які перетворюють сонячну енергію в теплову.

Але для південних районів України де багато сонячних днів цей напрямок в технології заготівлі сіна є досить перспективним.

2 АНАЛІЗ ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ І ВИБІР НАПРЯМКУ УДОСКОНАЛЕННЯ ГЕЛПОСУШАРКИ

Для підвищення якості сіна досушування його краще проводити на місцях складування методом активного чи пасивного вентилявання. Проведений аналіз патентної літератури дозволив визначитись з перспективним напрямком способів сушки і обладнанням для їх виконання.

Так з метою підвищення якості сушки шляхом більш рівномірного розподілу повітря по площі матеріалу, який підлягає сушінню, розроблена установка для сушіння сільськогосподарських матеріалів методом активного вентилявання [7]. Установка для сушки встановлена в сховищі 1 (рис. 2.1) циліндричної форми і містить розподільник повітря 2, виконаний в вигляді частини нижньої циліндричної ємності сховища, в верхній основі якої є решітчастий настил 3, на який складається матеріал для сушки. Вентилятори 4 через гнучкі вставки 5 з'єднані з повітряним каналом 6, який має в плані клиновидну форму і який розширюється до повітряного розподільника 2. Повітряний канал 6 з'єднано з повітряним розподільником тангенціально. Решітчастий настил спирається на стовпці 7. Гнучкі вставки 5 забезпечують можливість повороту вентиляторів 4 відносно вертикальної осі вихідного патрубка.

Установка працює наступним чином. В залежності від конфігурації шару, наприклад, при більшій його висоті в центральній частині, вентилятори 4 повертають на кут α . При цьому герметичність з'єднань вентиляторів з повітряними каналами 6 забезпечують гнучкі вставки 5. В роботу включають вентилятори 4, які подають повітря по повітряним каналам всередину повітряного розподільника 2. Тангенціальна подача повітряних потоків призводить до їх закрученого руху всередині повітряного розподільника 2, причому основна маса повітря частково відтісняється

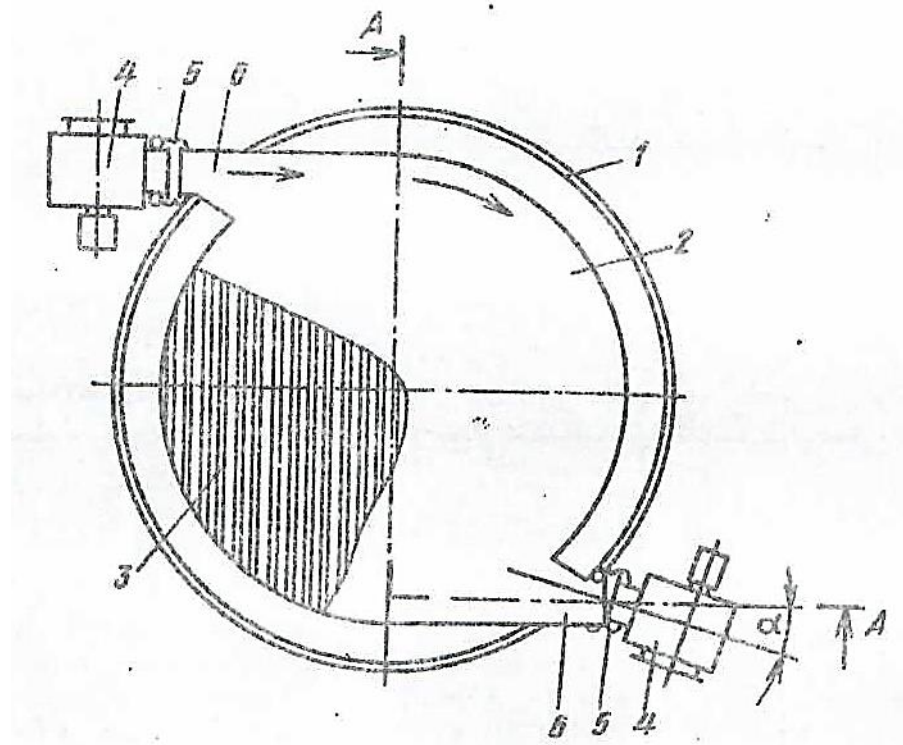


Рисунок 2.1 - План сховища з установкою для сушіння рослинних матеріалів активним вентиляванням [7]

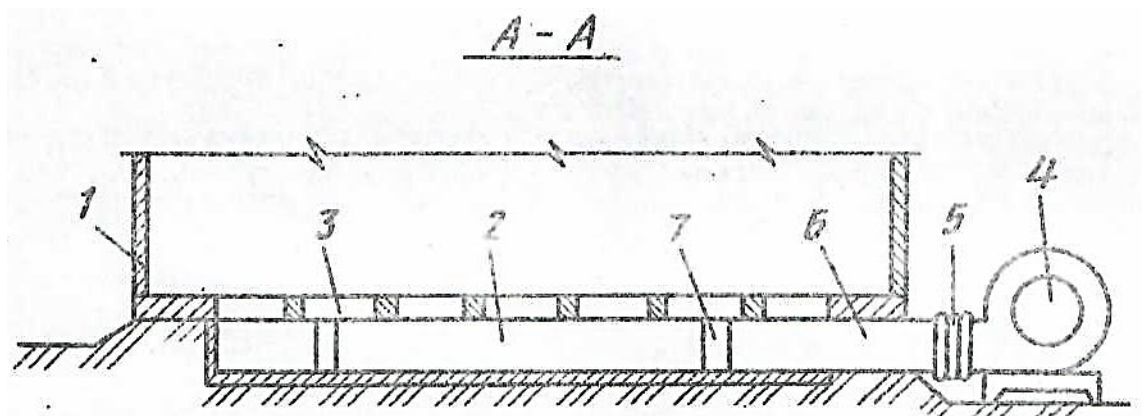


Рисунок 2.2 – Переріз А-А на рис. 2.1

відцентровими силами і рухається біля периферії. Поворот вентилятора на кут α викликає переміщення основної маси повітря ближче до центра повітряного розподільника 2. При рівномірному укладанні матеріалу і тангенціальному підведенні повітря (без повороту вентиляторів) витрати повітря всередині повітряного розподільника 2 збільшуються пропорційно від центру до периферії, що при збільшенні в цьому напрямку площі решітчастого настилу 3 забезпечує рівномірність повітряних потоків, які виходять з решітчастого

настилу 3 в матеріал, який піддається сушінню. При нерівномірному вкладанні матеріалу, наприклад, при більшій його висоті в центральній частині, поворотом вентиляторів 4 забезпечується переміщення основної маси повітряних потоків до центру повітряного розподільника, що дозволяє пропускати крізь більш високий шар матеріалу відповідно більше повітря, в результаті чого відбувається рівномірне висушування матеріалу навіть при нерівномірному вкладанні.

Запропонована установка для сушки рослинного матеріалу активним вентиляванням знижує на 20-25 % витрати повітря і підвищує ефективність сушки матеріалу і його якість. Крім того, затрати на будівництво установки скорочуються на 10-15 %.

Відома також установка для досушування сіна в скиртах [8], розроблена з метою зменшення енергозатрат в процесі сушки. Установка містить вентилятор 1 (рис. 2.3 і 2.4), до нагнітального дифузора 2 якого приєднана надувна перфорована камера 3, яка знаходиться на полу (грунті) всередині скирти сіна, що досушується. Всередині камери 3 укладена рівна з нею по розмірах друга герметична надувна камера 4, виконана з еластичного матеріалу, наприклад гуми. Горловина герметичної камери 4 через зворотній клапан 5 приєднана до двох позиційного шибера 6. Камера 4 має вентиль 7 випуску повітря.

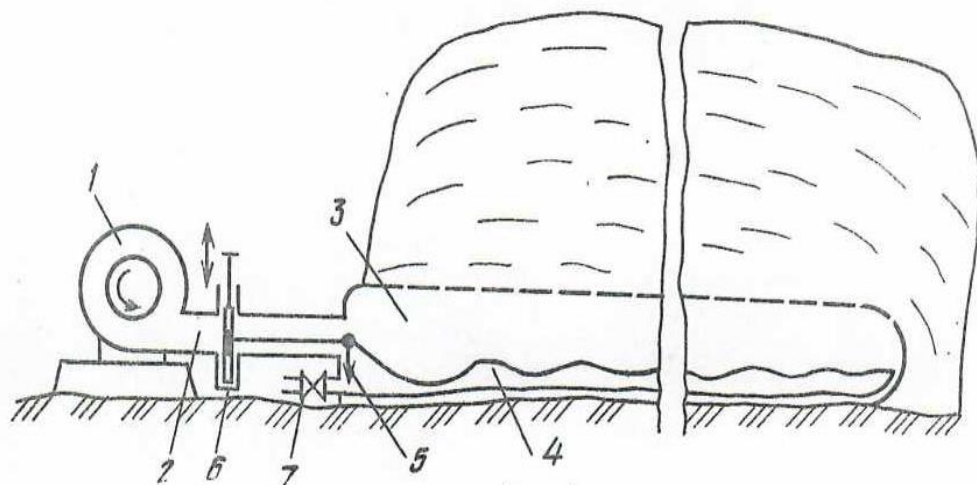


Рисунок 2.3 - Установка для досушування сіна в скиртах, загальний вид [8]

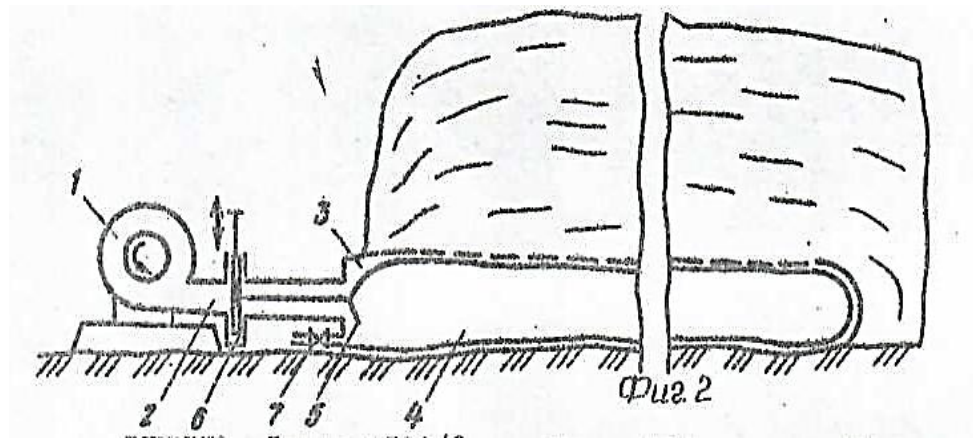
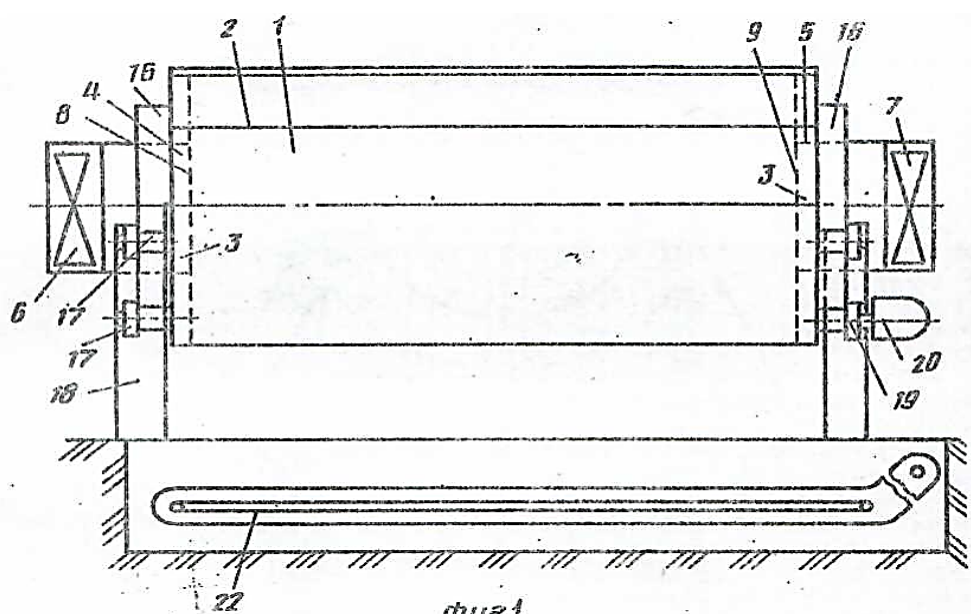


Рисунок 2.4 - Установка для досушування сіна в скиртах при роботі герметичної камери [8]

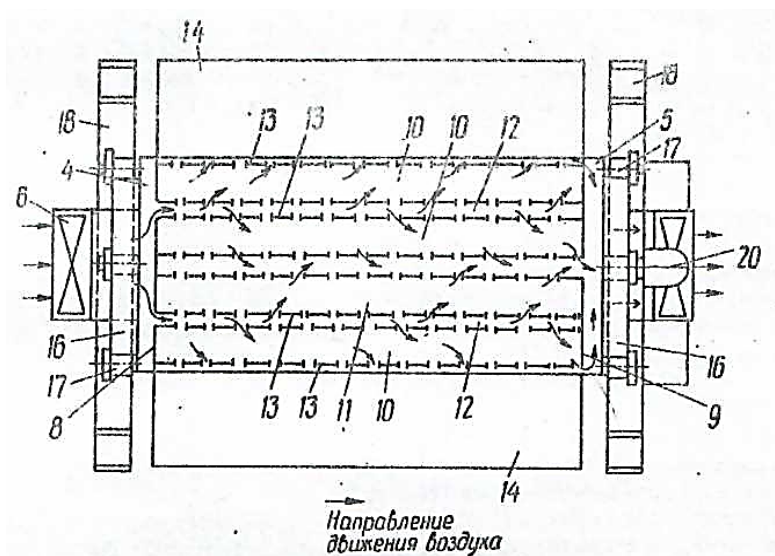
Установка працює наступним чином. Перед початком формування скирти перфорована камера 3 разом з герметичною камерою 4, яка знаходиться в ній, укладається на площадку під скирту. Горловини камер 3 і 4 приєднуються до двопозиційного шибера 6. Шибер 6 переводиться в положення, при якому відкрито доступ повітря, яке нагнітається в перфоровану камеру 3, і включається вентилятор. Надмірний тиск повітря підтримує сигароподібну форму камери 3. Потім починають вкладати сіно в скирту, при цьому із збільшенням маси сіна поперечний перетин камери 3 приймає форму деформованого кільця. Повітря, що проходить крізь перфораційні отвори, висушує масу сіна. Якщо по технологічним причинам доцільно тимчасово зупинити просушування сіна або намічається зупинка вентилятора 1, шибер 6 поступово переводиться в положення, яке відкриває доступ повітря в камеру 4 і закриває його доступ в камеру 3, при цьому клапан 7 закривають. Після повного надимання камери 4 вентилятор 1 виключається. Зворотному виходу повітря з камери 4 запобігає зворотний клапан 5. Якщо необхідно продовжити процес сушки, шибер 6 переводиться в положення, яке відкриває доступ повітря в камеру 3, включається вентилятор 1, відкривається клапан 7, внаслідок чого об'єм камери 4 зменшується, вона сплющується і відкриває доступ повітря, яке нагнітається, до перфораційних отворів.

Після закінчення досушування сіна камери 3 і 4 від'єднуються від шибера 6, легко виймаються із скирти і скручуються в компактний рулон.

Для забезпечення рівномірності і прискорення сушки розроблено пристрій [9], який містить ємність 1, наприклад в формі паралелепіпеду, що має завантажувальне вікно 2 (рис. 2.5 і 2.6). Ємність 1 має вентиляційну порожнину 3, що складається з лівої 4 і правої 5 вентиляційних камер, забезпечених вентиляторами 6 і 7, наприклад осьовими. Камери мають внутрішні стінки 8 і 9.



а)



б)

Рисунок 2.5 - Пристрій для сушки: а – вид спереду; б- вид зверху [9]

Всередині ємність розділена на секції 10 з каналами 11 і 12 всередині, створеними поздовжніми перфорованими перегородками 13, які зверху і знизу закриті, а з торців примикають до стінок 8 і 9 камер для почергового з'єднання каналів 11 з порожнинами камер 4 і 5. Канали 11 можуть бути з'єднані з камерою 5. Перегородки можуть бути з'ємні і з регульованою перфорацією. Таким чином, вентилятор 6 з'єднаний з камерою 4 каналом 12 і перегородками 13, вентилятор 7 з'єднаний з камерою 5 і каналом 11, перфорація з'єднує їх один з одним.

Обертання вентилятора реверсивне, якщо один з них нагнітає повітря в ємність, то інший відсмоктує його з неї.

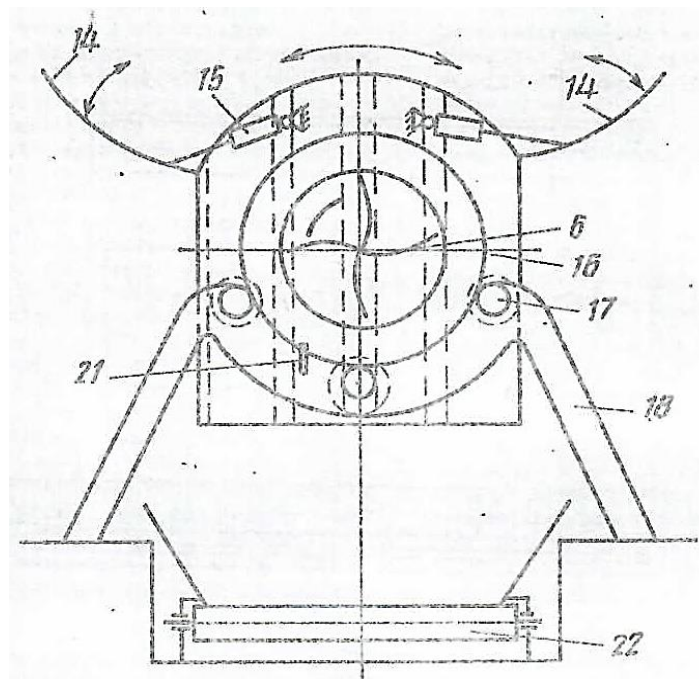


Рисунок 2.6 - Пристрій для сушки [9], вид збоку

Завантажувальне вікно 2 має кришку 14, форма якої копіює вікно, що складається з двох частин, шарнірно закріплених до поздовжніх бокових стінок ємності 1. Обидві частини кришки містять привід 15, який дозволяє закривати завантажувальне вікно 2 ємності. З зовнішнього боку ємність з обох торців має циліндричні опорні поверхні 16, які спираються на ролики 17, закріплені на М-видних станинах 18. Один з роликів 19 має реверсивний привід 20. Ємність 1 встановлена з можливістю обертання на роликах 17

навкруг поздовжньої осі і забезпечена фіксатором 21 її положень: 0^0 , $\frac{\pi}{2}$, π (0^0 – відповідає положенню ємності, коли вивантажувальне вікно 2 розташоване зверху, тобто ємність 1 знаходиться під завантаженням). Під ємністю між станинами розташований вивантажувальний транспортер 22 висушеного матеріалу.

Спосіб сушки матеріалу з застосуванням вище описаного пристрою реалізується наступним чином. Трав'яна маса завантажується крізь завантажувальне вікно в ємність 1, попередньо встановлену і зафіксовану за допомогою фіксатора 21 в вертикальному положенні (завантажувальне вікно зверху). Матеріал розподіляється в секціях 10 до їх завантаження будь-яким відомим способом. Потім завантажувальне вікно закривається кришками 14 за допомогою привода 15, ємність 1 повертають на кут $\frac{\pi}{2}$ на роликах 17 за допомогою реверсивного приводу 20 і фіксуються в цьому положенні фіксатором 21, при цьому поздовжні перегородки 13 розташовані горизонтально. Проходить перерозподіл і розпушування маси матеріалу по перфорованій поверхні перегородок 13, сили самоущільнення зменшуються із зменшенням висоти шару. Потім включають вентилятори 6 і 7, з яких вентилятор 6 нагнітає повітря через камеру 4 і канал 12 в секції 10, другий відсмоктує повітря через камеру 5 і порожнини перегородок 13 із секції через перфорацію. Відбувається сушка матеріалу.

Відомо пристрій для досушування сіна в рулонах [10], що складається з порожнинних часток обичайки 1, виконаних з ребрами жорсткості всередині, в стінках яких є отвори з різьбою для конусних штирів (рис. 2.7). Штирі – порожнинні, виточені з сталі. Платформа 2 виготовлена з листової сталі, має форму прямокутника і встановлена за допомогою чотирьох колісних пар на рельсову доріжку. По поздовжній осі платформи 2 виконано чотири отвори для центральних вертикальних конусних штирів 3, що звернені вершиною вгору.

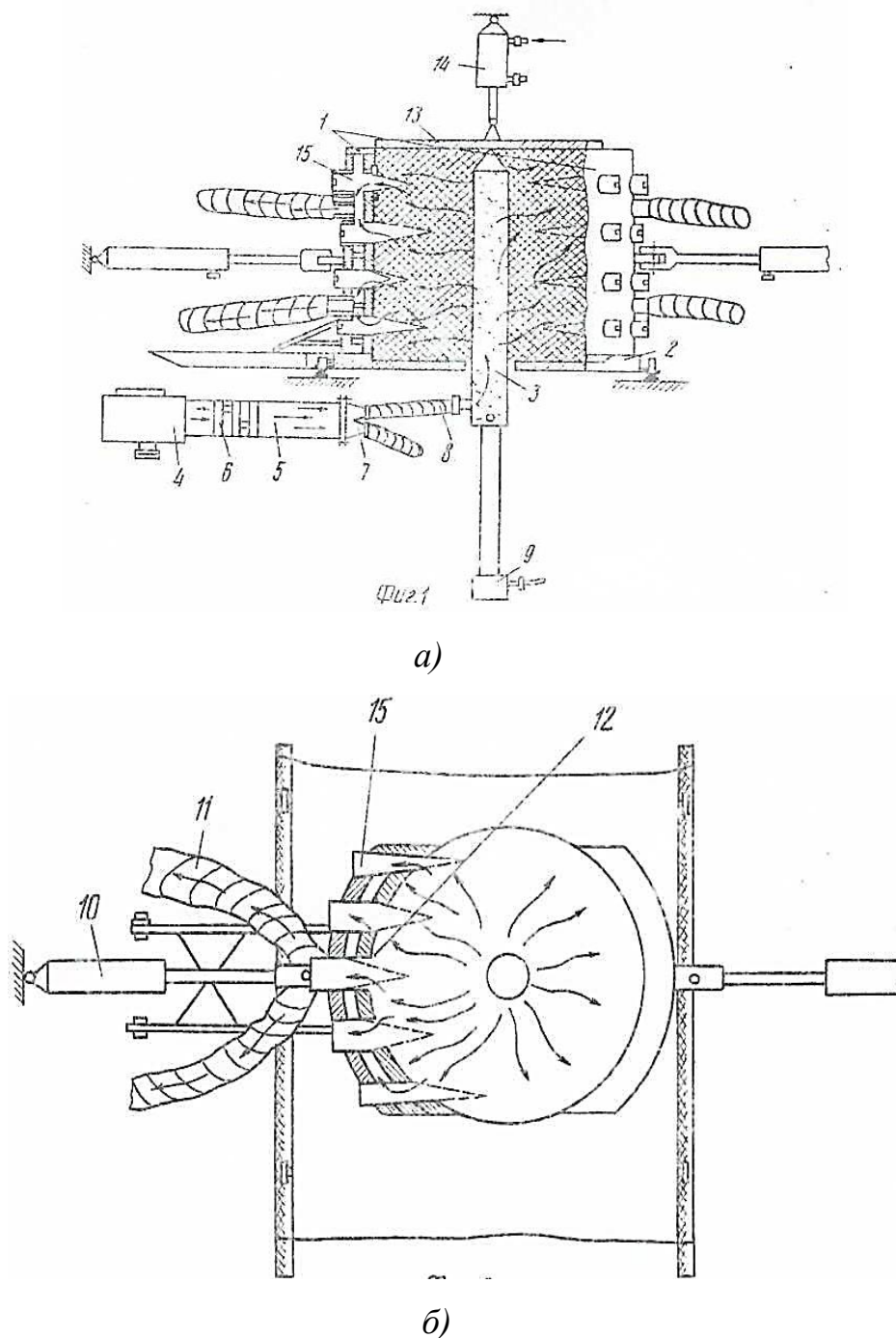


Рисунок 2.6 - Сушарка рулонів: а – вид збоку; б – вид зверху [10]

Вентилятор 4 подає повітря в роздавальний короб 5. Всередині короба 5 встановлено калорифер 6. Короб закінчується розподільником 7, який з'єднується з нижніми конусними штирями 3 за допомогою гнучких шлангів 8. З одного боку нижнього конусного штиря 3 запресовано металевий конус з розхилом 30^0 , а з іншого боку є посадочне місце для штоку силового гідроциліндра 9, а також отвір для підведення сушильного агента. Такими ж

посадочними місцями для гідро- циліндрів 10 обладнана обичайка 1. Силкові гідроциліндри 9 і 10 двохсторонньої дії. На кожній з частин обичайки 2 встановлено по два повітроводи 11. Обидві частини обичайки встановлено на рельсові доріжки. Ущільнювальні манжети 12 виготовляються з температуростійкої гуми з різними внутрішніми діаметрами. Упорна кришка 13 може пересуватися за допомогою гідроциліндра 14 в вертикальній площині. В систему управління гідроциліндрами 14, 9, 10 входять масляна ємність, масляний насос, гідро- розподільник. На обох частинах обичайки 1 встановлено додаткові конусні штирі 15.

Перед початком роботи проводиться настройка сушарки, яка передбачає попереднє підігрівання сушильного агента до заданої температури, визначення вологості рулонів лабораторним шляхом, встановлення рулонів на платформу 2 за допомогою фронтального навантажувача ПФ-0,5 так, щоб центральна вісь рулона співпадала з віссю отвору на платформі 2.

В залежності від вологості рулонів, їх розмірів і режиму роботи сушарки конусні штирі 15 на стояках обичайки 1 закручуються або відкручуються по різьбі, встановлюються ущільнювальні манжети 12 необхідного діаметру. Перед сушкою рулон обжимається двома частинами обичайки 1 з боків, зверху притискається упорною кришкою 13. Платформу 2 встановлюють так, щоб осі отворів в платформі 2 співпали з осями нижніх конусних штирів 3.

Введення нижніх конусних штирів 3 виконується до тих пір, поки штирі не досягнуть упорних кришок 13. Потім підігріте калорифером 6 повітря подається вентилятором 4 по повітряному коробу 5, через розподільник 7 гнучким шлангом 8 в нижні конусні штирі 3 і крізь перфоровані стінки входить в рулон. Відсмоктування вже відпрацьованого теплоносія виконується через перфоровані рухомі конусні штирі 15 обичайки 1. Вологість рулонів перед сушкою становить 30-35%. Висушені рулони знімаються з платформи тим же фронтальним навантажувачом ПФ-0,5.

Результати аналізу враховуємо при виборі схеми удосконалення розробок.

3 ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ СУШІННЯ СІНА

Одним із найбільш розповсюджених способів консервування трав є природне сушіння скошеної сировини на полі. Це дешевий спосіб консервування, який не потребує додаткових енерговитрат. Однак його успішне застосування повністю залежить від стану погоди. У випадку частих дощів у період сінокошу збільшується час сушіння скошеної трави, що часто призводить до псування корму. Зростають при цьому і затрати праці. Для отримання високоякісного сіна необхідно скоротити перебування скошеної трави на полі.

В умовах нашої країни для отримання сіна кондиційної вологості скошену траву на полі необхідно сушити протягом 4-6 діб при умові, що за цей час не буде дощів. Однак такий довгий період хороша погода під час сінокошу буває рідко. Звичайно скошена трава під час пров'ялювання неодноразово потрапляє під дощ, що призводить до значних втрат поживних речовин, які іноді досягають 50% [5, 6].

Зменшити ці втрати можна, скорочуючи строк пров'ялювання скошеної трави в полі або зовсім відмовившись від пров'ялювання. У останньому випадку втрати зводяться до мінімуму. Зібрану з поля свіжоскошену траву необхідно сушити негайно, так як вона швидко само нагрівається і псується. Для цих цілей звичайно застосовують високотемпературні пневмобарабанні сушилки, де сушіння частинок подрібненої трави продовжується протягом декількох хвилин. Володіючи багатьма перевагами, такий спосіб сушіння має і ряд недоліків: висока вартість сушильного обладнання, процес сушіння енергоємний, порівняно невелика продуктивність сушарок. У даний час, коли питання економії енергетичних ресурсів знаходиться у центрі уваги і ведеться інтенсивний пошук шляхів зниження енерговитрат, така технологія консервування кормів із трав може мати обмежене застосування. Відповідно, основна частина сіна повинна заготовлятися із пров'ялюванням трави. Відомо,

що у перші 2-3 доби пров'ялювання трави у полі волога із неї випаровується інтенсивно (вологість свіжоскошеної трави може зменшитися до 40-45%). Така пров'ялена трава володіє певною пластичністю і при підбиранні механізмами різних типів її втрати ще невеликі. Але трави з вологістю 40-45% непридатна для тривалого зберігання. Її необхідно скласти у скирту або штабель; під навіс або в сарай і досушити до кондиційної вологості (17%), продуваючи крізь шар атмосферне або підігріте повітря. Така технологія заготівлі сіна з досушуванням активним вентиляванням в останній час отримує все більше розповсюдження. Найбільша інтенсивність висушування сіна досягається при активному вентиляванні його підігрітим повітрям, але при цьому для його підігрівання витрачається значно більша кількість електроенергії або рідкого палива [5].

Процес сушіння пров'яленої трави активним вентиляванням в основному залежить від кліматичних умов у період заготівлі корму, початкової вологості сировини, яка закладається на сушіння, продуктивності вентиляційних установок, конструкції повітророзподільних систем, технології заготівлі сіна і ряду інших факторів [6].

Активне вентилявання дозволяє досушувати сіно з вологістю 25-35%, запобігти втраті листя у бобових трав. Але, якщо сіно у незавершеній скирті потрапило під дощ, поживна цінність його різко знижується, можливий розвиток плісняви. Тому на Поліссі України відсутність навісів і сіносховищ стримує широке впровадження у сільськогосподарське виробництво технології досушування сіна методом активного вентилявання. Проведені в НДІ СГ Нечорноземної зони України досліді показали, що застосування навісів і сіносховищ дозволяє підвищити поживну цінність сіна на 20-25%, у порівнянні із сіном висушеним вентиляванням на відкритих площадках.

Досушування сіна у сіносховищах [6] здійснюється за допомогою вентиляційних агрегатів УВС-10 або УВС-16 (2, рис.3.1) методом активного вентилявання зовнішнім повітрям (рис.3.1).

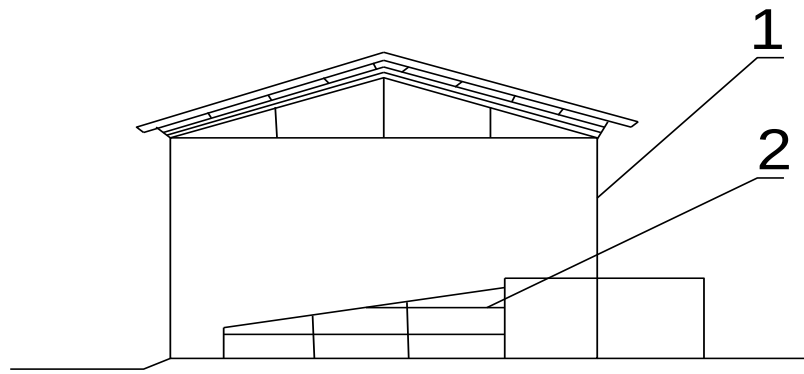


Рисунок 3.1 - Схема сіносховища для активного вентилявання сіна.

1 – сіносховище; 2 – вентиляційна установка УВС-10

Пристрій УВС-10 являє собою трьохсекційний металічний канал постійного перерізу, обладнаний для подачі повітря відцентровим вентилятором серії ВЦ4-70 №10. довжина каналу 10 м. Відповідно, його можна використовувати у сіносховищах шириною не більше 12 м або для сушіння пров'яленої трави у скиртах. Передня частина першої секції обшита металічним листом. У задній частині останньої секції змонтований спеціальний шарнірно-важільний механізм, який призначений для піднімання і опускання каналу при переведенні його у робоче положення або в положення видалення із скирти. У останньому випадку канал опускається, що полегшує його видалення із шару сухого сіна [5].

Пристрій УВС-16 складається із 5 секцій по 3,2 метри довжиною кожна. Конструктивно секція виконана у вигляді каркасу, який утворює канал і шарнірно закріплений на рамі. Для піднімання секції у робоче положення і опускання її при видаленні пристрою із скирти служать спеціальні повзуни, які монтуються на корпусі і за допомогою важільного механізму з'єднані з рамою. До першої секції приєднується повітронепроникна частина з фланцем у торцьовій частині, на яку надягається брезентовий рукав, який з'єднує вентилятор із повітророзподільним каналом [5].

У комплект пристрою входить модернізований осьовий вентилятор 06-290-11. Пускова апаратура і вентилятор змонтовані на окремій рамі.

Для підігрівання повітря вентиляційні пристрої обладнані електрокалориферами СФОА-25 [5].

Також для підігрівання повітря використовують електричні або рідинно паливні калорифери-повітропідігрівачі. Із електрокалориферів у сільськогосподарському виробництві для підігрівання повітря найбільш широко застосовують калорифери типу СФОЦ і СФОО.

Із рідинно паливних калориферів найбільше розповсюдження при сушінні сільськогосподарських продуктів отримали повітропідігрівачі типу ТГ, ТАУ, ТГП і інші. Електрокалорифери мають малу продуктивність вентиляторів. Найбільш продуктивні із них здатні висушити штабель сіна масою 3-5 тон [5].

Електрокалорифери зручні у застосуванні для сушіння пров'яленої трави підігрітим повітрям. У протипожежному відношенні вони більш безпечні, ніж повітропідігрівачі, які працюють на рідкому паливі, їх керування легше автоматизувати. Однак в умовах воєнного стану коли існує значний дефіцит електроенергії і відбуваються часті відключення використання електропідігрівачів практично неможливе.

Сіно заготовляють у літні місяці, коли інтенсивність сонячної радіації найвища. Більш за все в цей період буває і сонячних днів. Так як при сушінні пров'яленої трави підігрів повітря, яке подається в її шар складає $2 - 10^{\circ}\text{C}$, то для цієї мети можна використовувати сонячну енергію, встановивши спеціальні колектори.

У даний час існує багато проектів колекторів сонячної енергії для підігрівання води і повітря. Для сушіння пров'яленої трави застосовують в основному колектори для підігріву повітря. Колектори можуть бути розкладними і стаціонарними. Перші після закінчення сушіння демонтують і складають до наступного сезону. На рис. 3.2 зображена конструкція такого колектора. Він являє собою рукав довжиною 25-50 м і діаметром 700 мм, виготовлений із чорної поліетиленової плівки. При подачі в рукав повітря під

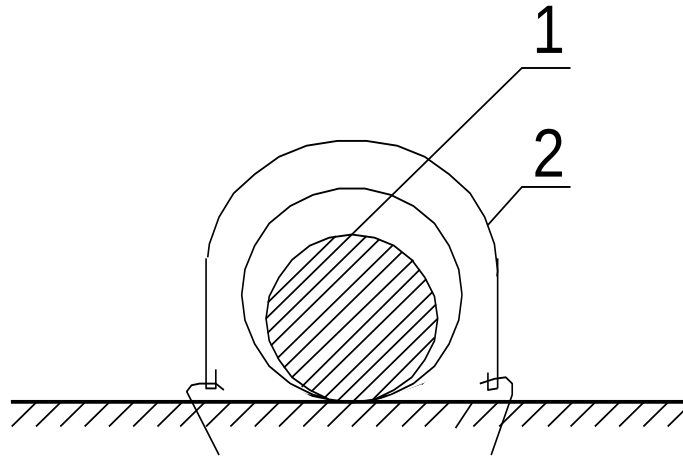


Рисунок 3.2 - Переносний сонячний колектор:

1 – енергопоглинаюча оболонка; 2 – прозора оболонка

тиском 100-600 Па він роздувається і набуває циліндричної форми. Цей рукав розміщують в оболонку, виготовлену із прозорої поліетиленової плівки. Її діаметр 800 мм. Для надавання оболонці необхідної форми у внутрішньому рукаві є спеціальні отвори, через які частина повітря потрапляє у простір між рукавом і оболонкою, роздуваючи її [5, 6].

Колектор такої конструкції доцільно застосовувати тільки в тому випадку, коли можна обмежитися незначним підігріванням технологічного повітря.

Більш перспективною для підігрівання повітря, яке подається у сіносушарку, є конструкція стаціонарного сонячного колектора, який розташовують на стіні і покрівлі сіносховища. Поперечний переріз такого колектора зображено на рис.3.3. Він складається із прозорої для сонячних променів покрівлі 1 (скло, поліетиленова плівка); покрівлі, яка поглинає сонячну енергію 2; шару теплоізоляції 3. повітря, яке подається у сіносушарку, проходить крізь простір 4 між прозорою і поглинаючою сонячну енергію покрівлями.

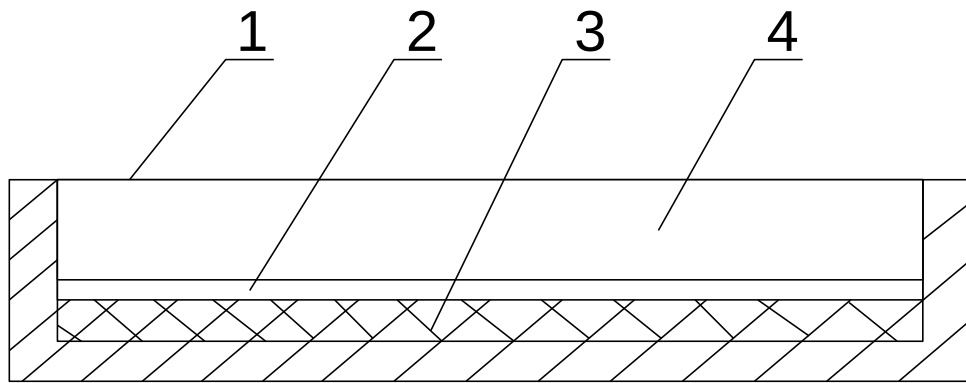


Рисунок 3.3 - Плоский сонячний колектор: 1 – прозора поверхня;
2 – енергопоглинаюча поверхня; 3 – теплоізоляція; 4 – канал для
продування повітря

У якості поглинаючої сонячну енергію покрівлі можна застосовувати пофарбоване у чорний колір листове залізо, чорну поліетиленову плівку або інші аналогічні матеріали [5].

Також у якості підігрівачів повітря часто стали застосовувати акумулятори тепла різних конструкцій [5; 6].

Пристрої, які випускаються промисловістю для вентилявання матеріалоємні, нетехнологічні. Тому під навісами, у сіносховищах можна застосовувати складні секційні повітропроводи, виготовлені із дерева, довжиною по 2 метри, які мають у перерізі форму трикутника з висотою 1,9 м і основою 1,6 м.

Повітропроводи розставляють паралельно, через 1 метр на довжину 18-20 метрів. Від вентиляторів повітропровід ущільнюють брезентом, плівкою на 0,5 метра довжини. Відстань вентиляторів від повітропроводів – 3 метри. Вентилятори необхідно встановлювати під навісами, з метою запобігання зволоження сіна при вентиляванні в періоди дощів і високої вологості повітря [5].

На досушування укладають цільне розсипне або подрібнене сіно, трав'яну різку з вологістю 30-35%, пресоване сіно з вологістю не вище 27-30%.

Перерви у вентиляванні сіна не допускаються більше 5-6 год., щоб

запобігти самонагріванню сіна. Нагрівання маси вище 40-45°C небажано, так як знижує перетравність поживних речовин, утворюється пліснява [5].

Враховуючи, що в країні приділяється багато уваги використанню вторинних енергоресурсів, у останній час для підігрівання повітря почали використовувати сонячну енергію. При такій технології збільшується інтенсивність висушування, значно економиться витрата електроенергії, за рахунок м'якості процесу забезпечується висока якість висушеного продукту.

У останній час розроблено ряд типових і економічно ефективних індивідуальних проектів будівель і споруд для сушіння сіна і його зберігання.

4 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОЗРОБКИ

Існує велика кількість пристроїв і споруд для заготівлі, сушіння і досушування сільськогосподарських кормів.

У даному дипломному проекті розглядалися деякі основні типи пристроїв для підігрівання повітря. Ми пропонуємо ще один варіант таких підігрівачів. У якості підігрівача ми пропонуємо використати пофарбований у чорний колір шифер під прозорою плівкою, а також гранітне каміння, покрите прозорою поліетиленовою плівкою.

Сонячне проміння притягується темною поверхнею, проникає крізь прозору плівку і нагріває або акумулюється у даній поверхні, яка в свою чергу, віддаючи отримане тепло (енергію сонця), підігріває повітря, яке знаходиться між поверхнею і плівкою. Потім за допомогою осьового вентилятора підігріте повітря забирається і подається у сіносховище для досушування сіна. Цей метод сушіння сіна активним вентиляванням дозволяє збільшити процес досушування на 6-7 год., що значно скорочує термін процесу сушіння.

Самі підігрівачі повітря є відносно дешевими і простими за конструкцією. При використанні чорного шиферу в якості підігрівача повітря шифер на навісі вздовж сіносховища над приводними станціями вентиляторів фарбують у чорний колір. Над ним на відстані 15-20 см натягується прозора плівка, для запобігання втрат нагрітого повітря. Також плівкою обтягується і бічна поверхня навісу.

При використанні гранітного каміння як акумулятора тепла для підігрівання повітря його укладають на купу висотою до 1 метра, а зверху покривають натягнутою на відстані 50-80 см від каміння плівкою. За день каміння нагрівається і виділяє багато тепла, яке підігріває повітря. Повітря вентилятором подається до сіносховища на досушування сіна. Час сушіння сіна при використанні таких підігрівачів повітря становить 16-20 год. на добу. Це дозволяє зменшити тривалість сушіння активним вентиляванням у 1,5-2

рази у порівнянні з досушуванням сіна активним вентиляванням без підігріву повітря, що є необхідним для зменшення втрат поживних речовин корму. Процес сушіння холодним повітрям сильно затягується і навіть при сприятливих погодних умовах складає, як правило, не менше 150 год.. Сушіння сіна більше 10 днів веде до значного зниження якості корму, розвитку плісняви. Тому застосування геліопідігрівачів повітря і акумуляторів тепла при сушінні сіна активним вентиляванням набагато зменшує строк сушіння, а отже запобігає втратам поживності корму.

5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНОГО ГЕНЕРАТОРА З АКУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛА

Сонячний теплогенератор складається із геліопанелів розмірами $H \cdot l = 21,0 \times 3,0$ м висотою $h = 1,9$ м з вложенням гранітом $d_e = 0,3$ м, Температура навколишнього повітря $t_{\text{вх}} = 22^\circ\text{C}$, середня інтенсивність сонячної активності на поверхні геліопанелів складає

$$Q_c = 710 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Нагріте повітря подається в вентиляційну камеру, в якій встановлені вентилятори, які подають змішане атмосферне нагріте повітря для досушування сіна. Геліопанелі працюють 10 годин на добу. Через геліопанелі і акумулятори тепла подається повітря із витратою $l_b = 2$ м³/с.

Визначаємо площі поперечного перерізу геліопанелі S і еквівалентного діаметра D_e

$$S = \frac{h \cdot (6 \cdot l + 8 \cdot b)}{15} \quad (5.1)$$

де h - висота геліопанелі, $h = 1,9$ м;

l - ширина геліопанелі, $l = 3,0$ м;

$$b = \sqrt{h^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} = 2,42.$$

Площа поперечного перерізу геліопанелі:

$$S = \frac{1,9 \cdot (6 \cdot 3 + 8 \cdot 2,42)}{15} = 4,733 \text{ м}^2.$$

Еквівалентний діаметр визначаємо за формулою:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,733}{3,14}} = 2,455 \text{ м}. \quad (5.2)$$

Визначаємо масові витрати повітря m_b в каналі v_b . Масова витрата повітря:

$$m_b = \frac{l_b}{\rho} \quad (5.3)$$

при $t = 25^\circ\text{C}$; $\rho_b = 1,13 \text{ м}^3$; тоді

$$m_b = \frac{2,0}{1,13} = 1,77 \text{ кг/с}$$

Швидкість повітря в каналі:

$$V_B = \frac{L_B}{S} = \frac{2,0}{4,733} = 0,423 \text{ м/с} \quad (5.4)$$

Визначаємо критерії Рейнольда і Нуссельта:

$$R_E = \frac{V_B \cdot D_E}{\nu}, \quad (5.5)$$

де, ν - кінематична в'язкість повітря, $\nu = 15,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

$$R_E = \frac{0,423 \cdot 2,455}{15,61 \cdot 10^{-6}} = 66,5 \cdot 10^3 > 2300 - \text{режим турбулентний};$$

$$N_U = 0,018 \cdot R_E^{0,8} = 0,018 \cdot 66,5^{0,8} = 129,81$$

Коефіцієнт теплообміну:

$$\alpha_{BP} = \frac{N_U \cdot \lambda_B}{D_E}, \quad (5.6)$$

де λ_B - коефіцієнт теплопровідності повітря,

$$\lambda_B = 2,65 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$\alpha_B = \frac{129,81 \cdot 2,65 \cdot 10^{-2}}{2,455} = 1,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Визначення нагрівання каміння:

$$\Theta = \frac{t_b'' - t(0, \tau)}{t_b - t_0}; \quad (5.7)$$

$$B_I = \frac{\alpha_{B-K} \cdot r_e}{\lambda_k} = \frac{5,546 \cdot 0,15}{23,2} = 0,35,$$

де, λ_k - теплопровідність граніту,

$$\lambda_k = 23,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$\operatorname{tg} \mu = -\mu \cdot (B_i - 1) = 1,037 ;$$

$$\mu = \operatorname{arctg} 1,037 = 0,29 ;$$

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot \tau}{r_e^2} = \frac{15,53 \cdot 10^{-6} \cdot 36000}{0,15^2} = 24,85 ;$$

де, α - температуропровідність граніту, $\text{м}^2 / \text{с}$,

$$\alpha = 15,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \text{ с} .$$

$$\Theta = \frac{27,09 - t(0,10)}{27,09 - 22} = \frac{2 \cdot 0,0359 \cdot \sqrt{0,29^2 + (0,0359 - 1)^2}}{0,29 + 0,0359^2 - 0,359} \times \exp(-0,29^2 \cdot 24,85) = 0,0351$$

Визначимо температуру акумулятора через 10 годин зарядки:

$t(0,10) = 27,09 - 0,351 \cdot 5,09 = 26,91^\circ\text{C}$, отже $t(0,10) \approx t_g''$, тобто за 10 годин твердий наповнювач буде нагрітий.

Визначаємо тривалість охолодження акумуляторів повітрям τ^{ox} ;

$$\Theta = \frac{t_b^0 - t(0, \tau)}{t_b^0 - t_0} = \frac{15 - 16}{15 - 26,91} = 0,084 ; \quad (5.8)$$

де, t_b -температура повітря при розрядці акумулятора, тобто в вечірньо-нічний період, $t_b = 15^\circ\text{C}$;

$\tau(0, \tau)$ - гранична температура передачі тепла від наповнювача повітрі, $t(0,16) \approx 16^\circ\text{C}$;

$$\exp(-\mu_1^2 \cdot F_0^{\text{ox}}) = Q \cdot \frac{\mu_1 + \beta_1^2 - \beta_1}{2 \cdot B_i \cdot \sqrt{\mu_1^2 + (B_i - 1)^2}} ;$$

$$\exp(-0,29^2 \cdot F_0^{\text{ox}}) = 0,084 \times \frac{0,29 + 0,0359^2 - 0,359}{2 \cdot 0,0359 \cdot \sqrt{0,29^2 + (0,0352 - 1)^2}} = 0,297 ;$$

$$-0,084 \cdot F_0^{\text{ox}} = -1,215 ;$$

$$F_0^{\text{ox}} = 14,447 ;$$

$$\tau^{ox} = F_O^{ox} \cdot r_e^2 \cdot \frac{1}{\alpha} = \frac{14,447 \cdot 0,15^2}{15,53 \cdot 10^{-6}} = 20931,06 \text{ c} \approx 5,820 \text{ д.}$$

Маса каміння в акумуляторі при пошаровому укладанні:

$$M_{TA} = N_K \cdot \rho_{ГР} \cdot V_K = \frac{l \cdot L}{d_e^2} \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_e^3; \quad (5.9)$$

де, N_K - коефіцієнт розподілу каміння в шарі;

$\rho_{ГР}$ - густина граніту; $\rho_{гp} = 2700 \text{ кг/м}^3$

l -ширина акумулятора, $l=3,0 \text{ м}$;

L -довжина акумулятора, $L=21,0 \text{ м}$;

d_e, r_e -відповідно діаметр і радіус каміння в акумуляторі, $d_e = 0,3 \text{ м}$.

$$M_{TA} = \frac{3 \cdot 21}{0,3^2} \cdot 2700 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 0,15^3 = 26705,7 \text{ кг}$$

Кількість теплоти, яку віддає акумулятор при розрядці до 16°C

$$Q_{TA} = M_{TA} \cdot C_{ГР} \cdot [t(0;10) - t(0;5,8)] \cdot (1 - \eta_0),$$

де $C_{ГР}$ - теплоємність граніту, $C_{ГР} = 641 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$;

η_0 -коефіцієнт віддачі тепла в навколишнє середовище, $\eta_0 = 0,1$;

$$Q_{TA} = 26705,7 \cdot 641 \cdot (26,91 - 16) \cdot (1 - 0,1) = 168,09 \text{ МДж};$$

Маса води, яку можна випаровувати акумулятором за цикл:

$$m_b = \frac{Q_{TA}}{Q_{ВВП}} = \frac{168090}{2500} = 67,236 \text{ кг}$$

де, $Q_{\text{вип}}$ - необхідна кількість тепла для випаровування 1 кг води, $Q_{\text{вип}}$
 $= 2560 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Маса води, яку можна випаровувати вдень за рахунок геліопанелі:

$$m_b = \frac{19,2339 \cdot 10 \cdot 3600}{2500} = 277 \text{ кг};$$

Кількість умовного палива, яке економиться за рахунок сонячного тепла генератора з підземними акумуляторами тепла:

$$M_{\text{VII}}^1 = \frac{Q_{\text{ТА}} + Q}{Q_{\text{VII}}^H} = \frac{168090 + 19,234 \cdot 10 \cdot 3600}{29300} = 29,37 \text{ кг.у.п.}$$

Кількість тепла яку отримує наземний акумулятор тепла при нагріванні безпосередньо сонячними променями:

$$Q_{\text{ТА}}^C \cdot (1 - \eta_T) - Q_E = M_{\text{ТА}} \cdot C_{\text{ГР}} \cdot \frac{1}{(T_{\text{ГР}} - T_{\text{ОГР}})}; \quad (5.10)$$

де, Q_E - кількість тепла, яку випромінює граніт в навколишнє середовище, Дж;

η_T - коефіцієнт втрат тепла, $\eta_T = 0,25$.

Густина потоку випромінювання граніту:

$$E = C \cdot \left(\frac{T_{\text{ГР}}}{100} \right)^4, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, \quad (5.11)$$

де, C - коеф випромінювання сірого тіла [17]

$$C = \varepsilon \cdot C_0, \quad (5.12)$$

де, ε - ступінь чорноти граніту, $\varepsilon = 0,93$;

C_0 - коеф випромінювання абсолютно чорного тіла,

$$C_0 = 5,67 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}.$$

Підставивши формули (5.9), (5.10), (5.12) в рівняння (5.11) розв'яжемо його відносно $T_{ГР}$.

$$710 \cdot 63 \cdot 10 \cdot 3600 \cdot 0,75 - 0,93 \cdot 5,67 \cdot 63 \cdot 10 \times \left(\frac{T_{ГР}}{100} \right)^4 = 26705,7 \cdot 641 \cdot (T_{ГР} - 295),$$

звідки $T_{ГР} = 305,1K$ або $t_{ГР} = 32,1^\circ C$.

Аналогічно визначаємо тривалість охолодження акумуляторів повітрям τ^{ox} .

$$\Theta = \frac{15 - 16}{15 - 32,1} = 0,585;$$

$$\exp(-0,29^2 \cdot F_o^{ox}) = 0,585 \times \frac{0,29 + 0,0359^2 - 0,0359}{2 \cdot 0,0359 \cdot \sqrt{0,29^2 + (0,0359 - 1)^2}} = 0,206;$$

$$-0,0841 \cdot F_o^{ox} = -1,579;$$

$$F_o^{ox} = 18,77;$$

$$\tau_{ox} = \frac{F_o^{ox} \cdot r_e^2}{\alpha} = \frac{18,77 \cdot 0,15^2}{15,53 \cdot 10^{-6}} = 27195,55c \approx 7,55 год.$$

Кількість теплоти, яку віддає акумулятор при розрядці до $16^\circ C$ аналогічно:

$$Q_{TA} = 267,05 \cdot 641 \cdot (32,1 - 16) \cdot 0,9 = 248,04 \text{ МДж} .$$

Кількість води, яку можна випаровувати акумулятором за цикл:

$$m_b = \frac{248040}{2500} = 99,216 \text{ кг} ;$$

Кількість умовного палива, яке економиться за рахунок сонячного тепла генератора з наземними акумуляторами тепла:

$$M_{\text{уп2}} = \frac{248040 + 292424}{29300} = 32,1 \text{ кг.у.п.}$$

Отже, використовуючи акумулятори тепла можлива економія 32,1 кг. ум палива за добу.

За проведеними розрахунками проектуємо окремі вузли і деталі пристрою для реалізації проекту.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Охорона праці на машинно-тракторному парку

У даний час більшість господарств мають достатню кількість техніки і площі для її розміщення. Машинно-тракторні парки (МТП) мають велику кількість тракторів, автомобілів, сільськогосподарської техніки і іншого обладнання, які розташовані на їх території. Також на території МТП знаходяться ремонтна майстерня, зварювальна дільниця, кузня, криті майданчики, гаражі, складські приміщення, асфальтовані не криті майданчики, естакади і інші споруди і приміщення. Така велика кількість обладнання і споруд вимагає чіткої організації охорони праці. Для цього проводять навчання з охорони праці для керівників підрозділів, інструктажі з техніки безпеки індивідуально для кожного працюючого. Видаються індивідуальні засоби захисту [20, 21].

Враховуючи, що МТП має багато споруд, то всі вони обладнуються блискавкозахистом, а також укомплектованими пожежними щитами. Також у кожній споруді є укомплектована інженером з охорони праці медична аптечка.

Усі сільськогосподарські машини на МТП застарілі, а тому забруднюють навколишнє середовище (повітря, ґрунт, водойми) шкідливими викидами, а матеріали, які застосовують при експлуатації і технічному обслуговуванні не завжди безпечні і нешкідливі для людей [21].

Державним стандартом ДСТУ 12.2.019-96 і санітарними правилами №4282-87 регламентовані вимоги до конструкції тракторів, самохідних та інших сільськогосподарських машин (обладнання машин приладами безпеки, сигналізації, спеціальними пристроями, інструментом і документацією), до статичної стійкості машин, гідро- і пневмопристроїв, робочого місця оператора, органів керування та інших елементів конструкції від яких залежать умови праці і безпека оператора [20].

Стандартами нормуються зусилля, що прикладаються до органів

керування машинами. Наприклад: при дії ногами вони коливаються у діапазоні 60-200Н; при дії руками – 30-200Н [21].

До роботи допускають лише технічно справні машини і знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускають до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів.

Причіпні і начіпні машини заздалегідь перевіряють і агрегують лише з тим трактором, що зазначений у заводській інструкції машини.

До роботи на агрегатах допускаються фізично здорові, навчені за спеціальністю (наявність посвідчення про кваліфікацію) і проінструктовані (за ГОСТ 12.0.004-90) механізатори. Залежно від виду роботи, механізатори мають бути забезпечені відповідними засобами захисту і спецодягом [20].

На місце роботи агрегатів не допускають сторонніх осіб, які не мають відношення до технологічного процесу.

Основними причинами травматизму на МТП є:

1. Не дотримання вимог техніки безпеки.
2. Перебування на робочому місці у нетверезому стані.
3. Відсутність попереджуючих і забороняючих знаків і табличок.
4. Відсутність нової нормативно-технічної літератури.

На МТП розроблені плани-схеми розміщення автомобілів, тракторів, самохідних сільськогосподарських машин та інших технічних засобів механізації на спеціальних майданчиках, під навісами, у боксах тощо. Розроблений і затверджений план розміщення автомобілів із визначенням черговості й порядку евакуації під час пожежі. Впроваджені чергування водіїв у нічний час, вихідні й святкові дні, а також порядок зберігання ключів від систем запалювання. Стоянки автомобілів забезпечені буксирними канатами або штангами з розрахунку один пристрій на десять автомобілів [20].

Забороняється захаращувати приміщення і відкриті майданчики для стоянки автомобілів різними предметами і обладнанням.

Ремонтні майстерні, пункти технічного обслуговування та інші

виробничі дільниці, де ремонтують і обслуговують сільськогосподарську техніку, обладнують засобами гасіння пожеж, а також на спеціальних щитах вивішують списки пожежних підрозділів, інструкції з пожежної безпеки.

Для запобігання пожежам і вибухам не допускається виникнення іскор. Підлогу влаштовують неспалиму, а все електричне обладнання у герметичному виконанні.

МТП має у достатній кількості ємкостей з піском і пожежний резервуар для гасіння пожеж. Також є укомплектовані пожежні щити.

Не допускається розміщувати поряд із закритими стоянками техніки ковальські, термічні, зварювальні, фарбувальні та деревообробні відділення майстерень і машинних дворів.

Забороняється:

- встановлювати на відкритих майданчиках технічні засоби більше встановленої норми, утримувати автомобілі і трактори із не справними паливними системами, відкритими горловинами паливних та гідравлічних систем;
- зберігати паливо, за винятком палива, що міститься в баках паливної системи;
- залишати автомобіль або тракторний причіп з вантажем;
- заправляти поза встановленим місцем паливом трактори, автомобілі та інші технічні засоби;
- зберігати порожню тару від палива або інших горючих та легкозаймистих рідин;
- застосовувати відкриті джерела вогню для розігрівання двигунів, редукторів та інших систем;
- залишати у автомобілях і тракторах промаслені ганчірки;
- залишати автомобіль із увімкненим запалюванням.

Трактори, автомобілі та інша техніка мають надходити у майстерню із злитим паливом. Забороняється застосовувати горючі і легкозаймисті рідини для миття деталей.

6.2 Охорона праці при заготівлі сіна

Поряд із загальними правилами охорони праці і забезпечення техніки безпеки у сільськогосподарському виробництві при заготівлі і закладанні сіна на зберігання необхідно виконувати ряд специфічних вимог.

Перед початком робіт по заготівлі сіна механізатори і робітники повинні пройти інструктаж по техніці безпеки і пожежній безпеці.

Перед початком роботи перевірити наявність на агрегатах чистиків, гачків та інших засобів для очищення робочих органів машини.

При транспортуванні пальці різального апарата косарки повинні бути закриті захисними щитками.

Перед пуском ротаційних косарок перевірити відсутність сторонніх предметів під ротором, а також кріплення роторів і ножів.

Слідкувати, щоб перед пуском і під час роботи нікого не було попереду агрегату.

При роботі підбирача-копнувача ПК-1,6А не можна протягувати сіно під транспортер при увімкненому валі відбору потужності.

Огляд внутрішніх частин копнувача можна проводити тільки при зафіксованій відкидній стінці.

При встановленні на трактори навантажувально-скиртувального обладнання ширина колії передніх коліс трактора повинна бути не менше 1400 мм, а задніх – 1900 мм [21].

Копицевози КУН-10, ПКУ-0,8 та навантажувач ПФ-0,5 забороняється:

- використовувати не за призначенням;
- піднімати вантажі більшої маси, ніж передбачено технічною характеристикою;
- знаходитись під піднятим вантажем та працювати в грозу;
- різко гальмувати та виконувати круті повороти при роботі з максимально піднятим вантажем;
- рухатись завантаженим копицевозом із швидкістю понад 10, навантажувачем – понад 4 км/год.;

- на стоянці залишати робочі органи в піднятому положенні;
- відривати порцію сіна від скирти з одночасним поворотом агрегату;
- виконувати роботу без навішування ззаду трактора ковша з баластом не менше 900 кг.

На підбирачі-стогоутворювачі СПТ-60 забороняється:

- працювати з перекинутим кузовом без підстраховуючи упорів;
- використовувати схили для руху накатом;
- залишати заповнений сіном кузов на стоянці;
- повертати агрегат у момент вивантаження стогу.

Під час скиртування сіна кількість скиртоправів одночасно на скирті не повинна перевищувати шести. Стояти вони повинні не ближче 1,5 м від краю скирти [20].

Забороняється піднімати та опускати з скирти людей стогометом.

Скиртувати сіно можна тільки вдень і при швидкості вітру не більше 10м/с.

Для відпочинку і харчування людей обладнується місце на відстані не менше 25 м від скирти.

Після закінчення скиртування скирти оборюють протипожежною смугою завширшки не менше 3 м та встановлюють грозозахисні щогли, висота яких повинна перевищувати скирту на 2-2,5 м. Для заземлення використовують дріт діаметром не менше 7 мм. Захисна зона щогли орієнтовно приймається 7-8 м [21].

При заготівлі пресованого сіна забороняється проштовхувати сіно на підбирач, ремонтувати, регулювати і очищати робочі органи під час роботи машин.

Деталі, які рухаються і обертаються, робочі органи і механізми кормозаготівельних машин і обладнання огороджують захисними кожухами, а біля особливо небезпечних вузлів і механізмів роблять попереджувальні надписи.

На тракторах і машинах, які агрегатуються з ними, а також на самохідних кормо збиральних комбайнах для обслуговуючого персоналу необхідно обладнувати двосторонню сигналізацію (звукову або іншу) і мати медичну аптечку і бачок (термос) для питної води [20].

Будова та технічна експлуатація вентиляційних установок і обладнання сіносховищ, оснащених електроприводом, мають відповідати діючим правилам технічної експлуатації сільських електроустановок, правилам техніки безпеки по експлуатації електротехнічних засобів у сільськогосподарському виробництві.

При електропостачанні пристроїв підігрівання повітря для досушування сіна потребується монтаж пристрою захисту і контролю за втратою струму.

Для активного вентилявання необхідно застосовувати тільки вентилятори із закритими обдуваємыми електродвигунами. Вентилятор із електродвигуном повинен мати захисні вібраційні пристрої і виключати тертя лопатей об кожух.

При досушуванні сіна у закритих приміщеннях вентилятори слід встановлювати із зовнішньої сторони на відстані не менше 1 м від незгораємих і 2,5 м від згораємих стін, у скиртах – не менше 2,5 м. Повітропроводи повинні бути із незгораємих матеріалів. Місце встановлення вентилятора огорожують металічними сітками або дерев'яними решітками.

Вхідний отвір вентилятора необхідно закривати металічною сіткою з отворами розміром не більше 25×25 мм.

Для обслуговування усіх електроприймачів необхідно передбачити загальний пульт, який встановлюють на незгораємій стіні або опорі, яка стоїть окремо (не ближче 5 м від складу) у спеціальному незгораємому ящику із пристосуванням для пломбування.

Струмопровідний кабель повинен бути надійно захищеним від механічних пошкоджень. Не допускається укладання кабелю у вологий ґрунт.

При підніманні підстіжного каналу у робоче положення необхідно впевнитися у тому, що ланки підйомного механізму дійшли до упору і каркас

каналу прийняв стійке положення.

Огляд, очищення вентиляційних каналів і шахт проводять під контролем відповідальної особи.

Для запобігання попадання води під час дощу у електродвигун вентиляційного пристрою необхідно встановлювати навіс.

У сараях для досушування сіна повинні бути вогнегасники, запас води і піску, відра, лопати. У сіноснохвищах ставлять блискавкозахист.

Необхідно відводити спеціальні місця для відпочинку, куріння, зберігання і заправки техніки.

Протипожежні відстані між закритими сіноснохвищами і тваринницькими приміщеннями та іншими спорудами повинні становити 50 м.

Забороняється:

- починати роботу не впевнившись в тому, що всі запобіжні загорожі механізмів і машин правильно встановлені;
- оглядати, регулювати і усувати неполадки робочих органів кормозаготівельних машин при русі агрегату, а обладнання і електропристрої – при працюючому двигуні;
- очищати на робочому або холостому ході від трави ріжучі апарати, рухомі і обертаючі частини машин і механізмів, змащувати ланцюги, підшипники і інші деталі, які труться;
- застосовувати для переносного освітлення електроживлення з напругою вище 12В;
- використовувати на заготівлі сіна трактори і машини без іскрогасників і вогнегасників;
- допускати втрату і розливання палива і мастила при заправці і мащенні тракторів і самохідних сільськогосподарських машин;
- розташовувати сіноснохвища під лініями електропередач;
- залишати без догляду працюючі вентиляційні пристрої під час грози;

- знаходитися ближче 10 м від тросів при витягуванні підстіжного каналу трактором з-під скирти;
- курити і розпалювати багаття у зоні досушування сіна.

Перед пуском вентилятора перевіряють надійність його кріплення, натяг ведучих пасів, легкість обертання робочого колеса, а також відсутність сторонніх предметів всередині.

Пуск вентиляційних установок у сіноскосищі проводять поступово. одночасний пуск двох і більше вентиляторів заборонений. Пускові прилади вентиляторів повинні розміщуватись в легкодоступних місцях.

Забороняється залишати без нагляду працюючі вентиляційні установки.

Протипожежних правил особливо слід дотримуватися при експлуатації повітропідігрівачів на рідкому паливі:

- не допускається зберігання палива і мастильних матеріалів без посередньо біля повітропідігрівачів;
- бочку з паливом можна встановлювати не ближче 5 м від повітропідігрівачів;
- система подачі палива повинна бути завжди справною;
- один раз на добу очищати від нагару форсунки та її відбивачі;
- перед пуском камери згорання необхідно продути повітрям при повністю відкритій заслінці дуттьового вентилятора;
- з'єднання теплообмінника і камери згорання повинно бути герметичним;
- не допускається підтікання палива в камеру згорання при зупинці повітропідігрівача.

Розроблені заходи дозволять підвищити рівень охорони праці в господарстві. Вони можуть бути використані при проведенні інструктажів з обслуговуючим персоналом.

7 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

7.1 Розрахунок вартості встановлення будівлі

Розрахуємо вартість встановлення акумуляторів тепла і геліопідігрівачів повітря.

Спочатку визначимо вартість доставки гранітного каміння до місця будівлі за формулою:

$$B = B_{\text{пр}} + O, \quad (7.1)$$

де $B_{\text{пр}}$ – вартість привезення граніту, грн.;

B – вартість витраченого палива на привезення граніту, грн.;

O – оплата праці водія, грн.

Вартість витраченого палива розраховуємо як добуток кількості витрачених літрів пального на вартість 1 л пального і на кількість машин, які необхідні для перевезення граніту [22].

Кар'єр знаходиться на відстані 8 км від сіноскосища. Для привезення необхідної кількості граніту водію необхідно три рази їздити до кар'єру. Отже загальний шлях S , який автомобіль проїде для того, щоб привезти граніт, буде рівний:

$$S = (S_1 + S_2) \cdot n, \quad (7.2)$$

де S_1 – шлях до кар'єра, км;

S_2 – шлях від кар'єра до сіноскосища в господарстві, км.

n – кількість рейсів.

$$S = (8 + 8) \cdot 3 = 48 \text{ км.}$$

Вартість 1 л палива становить 87,70 грн. При витраті палива 25 л на 100 км буде витрачено $48 \cdot 25/100 = 12$ л палива. Отже вартість пального буде становити:

$$B_{\text{п}} = 12 \cdot 87,7 = 1052,4 \text{ грн.}$$

Оплату праці шофера визначимо із його місячного окладу. Вважаючи, що для привезення гранітного каміння буде затрачено один робочий день, то оплата праці становитиме:

$$O = \frac{M}{D}, \quad (7.3)$$

де M – місячний оклад водія, з врахуванням збільшення мінімальної заробітної плати: $M = 8647$ грн;

D - кількість робочих днів у місяці, $D = 24$.

$$O = \frac{8647}{30} = 360,3 \text{ грн.}$$

Отже вартість привезення граніту становить:

$$V_{\text{пр}} = 1052,4 + 360,3 = 1412,7 \text{ грн.}$$

Визначимо вартість побудови сонячних акумуляторів $V_{\text{ак}}$. Для цього візьмемо денну тарифну ставку столяра (з врахування мінімальної заробітної плати 8647 грн), яка рівна $C = 360,3$ грн. і помножимо її на кількість робітників $K = 4$, які необхідні для побудови:

$$V_{\text{ст}} = C \cdot K \quad (7.4)$$

$$V_{\text{ст}} = 360,3 \cdot 4 = 1441,2 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначимо оплату праці слюсарів $V_{\text{с}}$ і зварювальників $V_{\text{зв}}$:

$$V_{\text{с}} = 360,3 \cdot 2 = 720,6 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{зв}} = 360,3 \cdot 1 = 360,3 \text{ грн.}$$

Тоді вартість побудови сонячних акумуляторів знайдемо за формулою:

$$V_{\text{а}} = V_{\text{ст}} + V_{\text{с}} + V_{\text{зв}}, \quad (7.5)$$

$$V_{\text{а}} = 1441,2 + 720,6 + 360,3 = 2522,1 \text{ грн.}$$

Визначимо вартість побудови геліопідігрівачів повітря, аналогічно до визначення вартості побудови акумуляторів тепла, враховуючи лише те, що будують їх два дні чотири столяри і один слюсар:

$$V_{\text{г}} = V_{\text{ст}} \cdot 2 + V_{\text{с}} \cdot 1 = 360,3 \cdot 2 + 360,3 \cdot 1 = 1080,9 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість будівельних матеріалів.

Вартість плівки визначимо помноживши необхідну її кількість (м^2) на

вартість 1 м². На акумулятори тепла необхідно 50 м², а на геліопідігрівачі повітря – 60 м². Вартість 1 м² плівки складає 250,0 грн. Отже вартість плівки становить:

$$B_{\pi} = (60 + 50) \cdot 250,0 = 27500,0 \text{ грн.}$$

Вартість чорної фарби для фарбування шиферного покриття під геліопідігрівач повітря становить:

$$B_{\phi} = C_{\phi} \cdot p_{\phi} \quad (7.6)$$

де C_{ϕ} – ціна однієї трьохкілограмової банки фарби, грн.;

p_{ϕ} – кількість банок фарби, яка необхідна для пофарбування.

$$B_{\phi} = 450 \cdot 3 = 1350 \text{ грн.}$$

Вартість інших будівельних матеріалів (цвяхи і т.ін.) по розрахункам становить – $B_{in} = 500$ грн.

Після проведення необхідних підрахунків обчислимо загальну вартість встановлення акумуляторів тепла і геліопідігрівачів повітря. Для цього підсумуємо усі отримані дані за формулою:

$$B_3 = B_{\pi p} + B_a + B_r + B_{\pi} + B_{\phi} + B_i \quad (7.7)$$

$$B_3 = 1412,7 + 2522,1 + 1080,9 + 27500,0 + 1350 + 500 = 34365,7 \text{ грн.}$$

7.2 Розрахунок економічних показників

Визначимо балансову вартість споруди за формулою:

$$B = C \cdot \chi \quad (7.8)$$

де C – ціна споруди, $C = B_3 = 34365,7$ грн.;

χ – коефіцієнт, який враховує затрати на транспортування машини та її монтаж, $\chi = 1,2$ [24].

$$B = 34365,7 \cdot 1,2 = 41238,8 \text{ грн.}$$

Додаткові капіталовкладення визначимо за формулою:

$$\Delta K = K_1 - K_0 \quad (7.9)$$

де K_1 – капіталовкладення в нову споруду, грн. ($K_1 = B$);

K_0 – капіталовкладення в базову споруду ($K_0 = B_0$)

$$\Delta K = 41238,8 - 0 = 41238,8 \text{ грн.}$$

За розрахунками, проведеними в п'ятому розділі, ми бачимо, що за допомогою акумуляторів тепла і геліопідігрівачів повітря за добу економиться 24,96 кг умовного палива.

Визначимо річний (сезонний) економічний ефект за формулою:

$$P_c = \Pi \cdot K_d \cdot C_p \cdot k, \quad (7.10)$$

де Π – кількість зекономленого палива, кг;

K_d – кількість днів роботи технології;

C_p – ціна палива, грн.;

k - перевідний коефіцієнт, $k = 1,2$.

$$P_c = 24,96 \cdot 30 \cdot 87,7 \cdot 1,2 = 78803,7 \text{ грн.}$$

Таблиця 7.1 - Техніко-економічні показники проекту

Найменування показників	Базова технологія	Нова технологія	Відхилення, +, -
1. Економія палива, кг	-	24,96	-
2. Кількість обслуговуючого персоналу, чол..	2	2	-
3. Час сушіння сіна протягом доби, год	14	20	6
4. Витрата електроенергії, кВт	685	630	- 55
5. Додаткові капіталовкладення, грн	-	41238,8	-
6. Річний економічний ефект, грн..	-	78803,7	-
7. Строк окупності затрат (років)	-	0,5	-

Визначимо строк окупності капіталовкладень за формулою:

$$C_o = \frac{\Delta K}{P_c} \quad (7.11)$$

$$C_o = \frac{41238,8}{78803,7} = 0,5 \text{ років.}$$

Із проведених розрахунків видно, що запропонована технологія окупить себе за перший сезон її використання. Результати розрахунків економічної ефективності проекту заносимо в таблицю 7.1.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення тваринництва грубими кормами розроблено і використовуються різні технології і комплекси машин в залежності від конкретних умов господарства.

2. Проведений патентний аналіз дозволив вибрати оптимальний напрямок удосконалення способу досушування сіна. Проведений аналіз технологій заготівлі сіна показав, що найбільш перспективними технологіями є такі, які передбачають його досушування активним вентиляванням підігрітим повітрям в сушарках з напільними пневмоканалами різної конструкції. З метою економії пального, для підігріву повітря доцільно використовувати сонячну енергію, застосовуючи геліопідігрівачі.

3. Запропонований геліопідігрівач повітря і акумулятор тепла при сушінні сіна активним вентиляванням набагато зменшує строк сушіння, а отже запобігає втратам поживності корму. Розраховано основні його параметри, які дають змогу оптимально використовувати сонячну енергію і акумулювати її для продовження часу користування підігрітим повітрям.

4. Розроблені заходи з охорони праці можуть бути використані при проведенні інструктажів з обслуговуючим персоналом і суттєво підвищать рівень охорони праці в господарстві.

5. З проведених розрахунків видно, що запропонований варіант акумуляторів тепла і геліопідігрівачів повітря є досить економічно вигідним для впровадження в господарствах. Економічний ефект становить за один рік 78803,7 грн. Також можна скоротити строки сушіння сіна до 5-8 днів. Впровадження нової технології окупиться за перший сезон її використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпенко М. Ефективність кормозбиральних комбайнів в Україні// Пропозиція. - №5, 2001. – с. 100 – 102.
2. Виробництво молока в Україні продовжує скорочуватися //8 червня 2019 - <https://www.agravery.com/uk/posts/show/virobnictvo-moloka-v-ukraini-prodovzue-skorocuvatisa>.
3. Раціон порятунку на господарствах з виробництва молока під час війни:| Говорять експерти. - 28 червня 2022// <https://zemliak.com/ferma/2857-racion-poryatunku-na-gospodarstvah-z-virobnictva-moloka-pid-chas-viyni-govoryat-eksperti>.
4. Осьмак В., Качан І. Сучасні технології та машини для заготівлі сіна // Пропозиція. – 05.06.2008. - <https://propozitsiya.com/ua/suchasni-tehnologiyi-ta-mashini-dlya-zagotivli-sina>.
5. Карпенко М. Обґрунтування ресурсозберігаючої технології заготівлі стеблових кормів/Техніка АПК. – Київ, № 7, 2000 р.- с. 9–13.
6. Лиса А. Заготівля кормів в умовах війни та обмежених ресурсів – рекомендації від НААН. <https://landlord.ua/news/zahotivlia-kormiv-v-umovakh-viiny-ta-obmezhenykh-resursiv-rekomendatsii-vid-naan/>
7. Авторське свідоцтво на винахід «Установка для сушки сільськогосподарських матеріалів активним вентиляванням». №1697624, 15.12.91. Бюл. №46.
8. Авторське свідоцтво на винахід «Установка для досушування сіна в скиртах». №1366111, 15.01.88. Бюл. № 2.
9. Авторське свідоцтво на винахід «Спосіб сушки сільськогосподарських матеріалів і пристрій для його здійснення». №1697625, 15.12.91. Бюл. № 46.
10. Авторське свідоцтво на винахід «Сушилка рулонів сільськогосподарських культур». №1764563, 30.09.92. Бюл. № 36.

11. Філоненко Л., Тихоненко О. Сучасна техніка для заготівлі кормів// Агробізнес сьогодні. - №10(209) травень 2011. – с. 23-27.
12. Механізація вирощування сільськогосподарських культур в Україні/ А.С.Кобець, О.Д.Деркач, М.І.Ролдугін, В.М.Яцук, П.М.Кухаренко, А.М.Пугач; Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет. – Дніпропетровськ, 2014. – 285 с.
13. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
14. Сільськогосподарські машини: підручник/ Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агросвіт», 2015. – 679 с.
15. Бабич А.О., Олішинський С.Й. Довідник по заготівлі і зберіганню кормів. - К.: Урожай, 1989. -176 с.
16. Довідник з опору матеріалів / Пісаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвієв В.В. Відп. Ред. Писаренко Г.С. – 2-е вид., перероб. і доп. К: Наукова думка, 1988 – 736 с.
17. Землеробська механіка. Т.2. Теоретичні основи сільськогосподарської механіки/ А.С. Кобець, А.Г. Дем'яненко, О.Ю. Береза, О.А. Гонь і ін.- Дніпро, «Свідлер А.Л.», 2022. – 712 с.
18. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві /В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімот та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка. – К.: Урожай, 1993. – 288 с.
19. Машиновикористання та екологія довкілля: Підручник/ Головчук А.Ф., Лімонт А.С., Бондаренко М.Г. За ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота, 2007. - 360 с.
20. Грядник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с., іл..
21. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві// Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня

2018 року № 1240, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542.

22. Вініченко І.І, Сітковська А.О. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства// Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.