

# **Машини та обладнання для тваринництва**

## **Підручник**

За редакцією  
**Бойко І.Г.**

Том1

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як підручник  
для студентів вищих навчальних закладів

Харків 2006

**УДК 631.22(075)**

**ББК 40.729я7**

**Т33**

**Рецензенти:**

**Савран В.П.** – доктор сільськогосподарських наук.

(Інститут тваринництва УААН)

**Сичев І.П.** – доктор технічних наук, професор.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства).

**Науменко О.А., Бойко І.Г., Нанка О.В., Полупанов В.М., Скорик О.П.,  
Троянов М.М., Трішин О.К., Фісяченко О.І., Ужик В.Ф., Щербаков Є.М.**

**Т33** Машини та обладнання для тваринництва (за редакцією  
І.Г. Бойко. – 2006. – 225 с. – Укр)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки  
України 08.12.2005, №14/182-2795

**ISBN 5-7763-0037-1**

**УДК 631.22(075)**

У підручнику приведені конструкції машин та обладнання для тваринництва, теорія найбільш розповсюджених технологічних процесів роботи машин, а також методи їх розрахунку.

Підручник розроблено згідно з програмою дисципліни „Машини та обладнання для тваринництва” для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „бакалавр”, „спеціаліст” і „магістр”, напрямки підготовки 0902 – „Інженерна механіка” та 0919 – „Механізація та електрифікація сільського господарства” за спеціальностями 6.090215 „Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва” та 8.091902 „Механізація сільського господарства”.

**ISBN 5-7763-0037-1**

**ББК 40.729я7**

Харківський національний  
технічний університет  
сільського господарства, 2006

## Передмова

Тваринництво як галузь агропромислового комплексу на сучасному етапі розвитку суспільства є соціально-економічною сферою народного господарства, яка визначає здоров'я нації та економічну безпеку.

Приоритетне місце в вирішенні цієї задачі займає інженерно-технічне забезпечення технологічних процесів в тваринництві.

Еволюція розвитку технологій в тваринництві, як свідчить аналіз світової і вітчизняної практики, проходила під впливом створення і запровадження нових як окремих машин та знарядь, так і, особливо технологічних комплексів і систем машин.

Створення устаткування для приготування і роздавання їх тваринам і птиці, доїльного обладнання, систем для вентиляції та регулювання температурного режиму в тваринницьких приміщеннях, технічних засобів для сепарування, пастеризації та охолодження молока, систем водопостачання та напування, видалення гною, посліду і приготування добрив дало можливість корінним чином змінити зміст технології виробництва, способи утримання і годівлі тварин, вимоги до технологічних режимів життєзабезпечення тварин, економічні параметри та витрати ресурсів на здійснення технологічних процесів.

Під їх впливом отримали розвиток не тільки окремі елементи технологій – кліткове утримання птиці, системи і способи утримання худоби з різними модифікаціями, нові технології і форми організації доїння корів в залах, в станках, обладнаних автоматичними системами контролю молоковіддачі, автоматичного нормування кормів тощо, але і був забезпечений перехід від ручного до машинного обслуговування тварин, створені повністю автоматизовані виробництва яєць, м'яса бройлерів, відгодівлі свиней і т. п. Це свідчить про те, що машини і знаряддя як ті, що мають найбільш динамічний розвиток елементів процесу виробництва на основі використання в їх конструкціях нових винаходів і відкриттів, впливають на вдосконалення технологій, спрощують їх, зменшують витрати ресурсів на їх виконання, впливають на використання генетичного потенціалу тварин.

З повною впевненістю можна констатувати, що вирішальний вплив на ефективність виробництва, отримання високоякісної конкурентоспроможної тваринницької продукції мають засоби механізації і автоматизації і ніякі інші фактори: порода, селекція, ветеринарна медицина, спосіб утримання тварин не можуть бути реалізованими без необхідної інженерної бази.

Виходячи із наведеного аналізу очевидно що підготовка фахівців повинна вестись на базі постійного оновлення літератури з машин та обладнання тваринницьких ферм.

Необхідність розробки і видання цього підручника виходить із слідуючих чинників:

1. Значні зміни понятійного апарату і термінології як базових так і суміжних дисциплін і спеціальної технічної термінології нормативно-технологічної документації галузі – споживача спеціалістів (державних стандартів тощо).

2. Великі досягнення в галузях (технічного оснащення рослинництва і тваринництва, нові ремонтно-технологічні і діагностичні технології, впровадження мікропроцесорної техніки і т.п.). З'являється необхідність адаптації до учбового процесу даних, які описані в науковій та спеціальній літературі.

3. Принципово нові освітянські технології вимагають нового інструментарію, в тому числі з новими дидактичними якостями. Наприклад, широке запровадження комп'ютерних навчальних технологій, дистанційного навчання, обумовлює необхідність випуску орієнтованих на такі технології навчальних посібників, при чому не тільки надрукованих, а і на електронних носіях.

Рис. 1. Обумовленість оновлення навчальної літератури із механізації тваринницьких ферм.

1. Зміни в системі освіти
1.1 Диверсифікація освіти, запровадження болонського процесу (бакалавр, магістр, спеціаліст).
1.2 Введення державних стандартів освіти, зміни переліку спеціальностей.
1.3 Запровадження нових освітянських технологій (дистанційна освіта, нові електронні носії інформації, тощо).
1.4 Необхідність закріплення накопиченого науково-педагогічного досвіду.
2. Розвиток предметної галузі
2.1 Перехід на нові засоби механізації, широке використання закордонної техніки різних фірм, перехід на біопаливо.
2.2 Запровадження комбінованих засобів, які суміщають декілька процесів (наприклад подрібнення, змішування, транспортування, роздавання).
2.3 Використання мікропроцесорної, роботизованої техніки (роботи для доїння, автоматизована годівля тварин).
3. Зміна зовнішніх умов
3.1 Підвищення ролі екологічних аспектів використання машин та обладнання (використання біодобавок, пестицидів, стимуляторів росту, методи утримання, клонування, тощо).
3.2 Підвищення ролі економічних та енергетичних важелів.
3.3 Інтенсифікація міжнародної інтеграції.

Цей підручник розроблений у відповідності з програмою дисциплін спеціальностей 8.091902. «Механізація сільського господарства», та 8.090215 «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва».

## **Розділ 1 Виробничо-технологічна характеристика тваринницьких підприємств**

### **1 Напрямки і перспективи розвитку тваринництва України**

#### **1.1 Аналіз сучасного стану тваринництва України**

Тваринництво є основною галуззю АПК, яка забезпечує продукти харчування, тому повинен бути розвиток.

Аналіз та оцінка стану та розвитку тваринництва України свідчить, що виробничо-економічні показники ведення галузі, у порівнянні з 1990 роком, значно погіршилися. Різко зменшилося поголів'я тварин і птиці, і знизилась їх продуктивність та показники відтворення, що призвело до зменшення виробництва всіх видів тваринницької продукції, і як результат – рівень їх споживання на душу населення зменшився від медичної норми на 46-52%.

Головною причиною такого становища є незадовільний за кількістю і якістю рівень кормовиробництва і кормозабезпечення галузі. Триває скорочення виробничого потенціалу, слабо поновлюються виробничі тваринницькі приміщення і споруди, машини і технологічне обладнання галузі, недостатньо ведеться робота з селекції, значно погіршилась матеріально-технічна база племінних господарств.

Велику негативну роль у спаді виробництва тваринницької продукції відіграв диспаритет цін між промисловою продукцією, що використовується в галузі, і тваринницькою продукцією, яка в більшості нерентабельна, та її виробництво для більшості підприємств стало не вигідним. Однією з причин незадовільного розвитку галузі є низький рівень організації та управління виробництвом, незадовільна кваліфікація керівників та спеціалістів сільгоспідприємств. Все це в кінцевому результаті призвело до низької оплати корму та продуктивності праці, підвищення собівартості продукції і, як наслідок, до збитковості галузі тваринництва.

Перехід України до ринкових умов господарювання, зміна форм власності на основні засоби виробництва та цінових співвідношень на енергоносії призвели до кардинальних змін у виробництві продукції тваринництва.

Значне переміщення виробництва продукції тваринництва у приватний сектор призвело до погіршення ефективності ведення галузі з питань селекційно-племінної роботи, кормозабезпечення, ветеринарно-санітарного, технічного і технологічного забезпечення та інформаційного і дорадчого супроводження.

Такий стан розвитку тваринництва буде призводити до подальшого скорочення поголів'я худоби, що може зумовити ще більші труднощі у забезпеченні населення країни вітчизняними продуктами харчування тваринного походження. У свою чергу, скорочення поголів'я призводить до різкого зниження родючості ґрунтів за рахунок зменшення внесення органічних

добрив, що зумовлює подальше зниження врожайності та валових зборів як продовольчих, так і кормових культур.

Аналіз тенденцій розвитку тваринництва у світі і, перш за все, в таких країнах, як США, Канада, Великобританія, Франція, Голландія, Ізраїль, Японія та інших переконливо показує, що головним фактором вирішення проблеми забезпечення населення продуктами тваринного походження є інтенсифікація галузей тваринництва за рахунок використання високопродуктивних порід тварин і птиці з видатним генетичним потенціалом продуктивності та комплексного вирішення питань кормовиробництва, годівлі, механізації та автоматизації технологічних процесів і операцій, забезпечення фізіологічно комфортних умов утримання, цілеспрямованої комп'ютеризованої селекційної роботи та інтенсивного вирощування молодняку на рівні вимог стандарту порід.

## **1.2 Напрямки і перспективи розвитку тваринництва України**

Основою розвитку тваринницьких галузей є створення міцної та сталої системи кормовиробництва, яка в сучасних умовах в реформованих господарствах повинна забезпечувати не лише власні потреби, а й розвиток тваринництва в особистих господарствах населення.

Головним напрямком розвитку галузі тваринництв є стабілізація і подальше нарощування поголів'я всіх видів сільськогосподарських тварин і птиці та підвищення їх продуктивності. Шляхами вирішення цього стратегічного завдання є заходи щодо зниження собівартості тваринницької продукції, покращення механізмів співпраці товаровиробників з переробними підприємствами, впровадження більш ефективної системи державної фінансової підтримки. Пріоритетним напрямком підвищення ефективності галузей тваринництва та рентабельності виробництва тваринницької продукції в господарствах різних форм власності України є розробка та освоєння сучасних інтенсивних технологій виробництв з випереджаючим комплексним рішенням оптимізованої енергозберігаючої структури кормовиробництва, комбінованої інтенсивної системи повноцінної годівлі з використанням високоякісних кормів із сховищ, зеленого конвеєра та згодовування комбікормів, преміксів у вигляді повнораціонних кормосумішей.

Для виведення галузі тваринництва із кризового стану необхідно враховувати такі основні напрямки роботи:

- стабілізація чисельності поголів'я в господарствах населення з подальшим його нарощуванням в сільгоспідприємствах, підвищенням продуктивності всіх видів тварин і птиці на основі збільшення загального рівня і покращення повноцінності годівлі;

- відновлення міжгосподарської кооперації сільгосптоваровиробників на виробництві продукції тваринництва та створення спеціалізованих тваринницьких формувань з високою концентрацією виробництва на основі науково обгрунтованих систем ведення галузей з відповідними фінансово-економічними відносинами;

– відновлення дотацій галузі шляхом обмеження посередників відносно отримання надприбутків від продажу продукції тваринництва, налагодження паритету цін між промисловою продукцією та продукцією сільського господарства;

– налагодження виробництва сільськогосподарської техніки на засадах розширення кооперації між виробниками основної елементної бази в Україні і за кордоном, у першу чергу з підприємствами Росії і Білорусі, та складанням її переважно в Україні, з максимальним насиченням їх вітчизняною елементною базою;

– створення умов для залучення матеріальних засобів та коштів інвесторів з метою нарощування виробництва конкурентноспроможної продукції тваринництва;

– встановлення лізингового матеріально-технічного забезпечення сільгосппідприємств з відстрочкою розрахунків на 10-15 років, довгострокових кредитів – не менше 5 років;

– розширення надання сільгоспвиробникам пільгових довгострокових кредитів та вдосконалення системи оподаткування;

– розробка і впровадження у виробництво з залученням науково-дослідних та навчальних установ, наукоємних, ефективних технологій ведення тваринництва, програм з селекції всіх видів тварин і птиці;

– організація мережі аналітичних лабораторій щодо визначення та сертифікації якості кормів і продукції тваринництва;

– організація інтенсивної системи кормовиробництва та використання концентрованих кормів і преміксів тільки у складі повноцінних комбікормів;

– розширення мережі сервісної служби із забезпечення зоотехнічного, ветеринарного та технічного обслуговування худоби сільгосппідприємств, дрібних товаровиробників та господарств населення, а також організації штучного осіменіння, закупівлі продукції, купівлі-продажу племінного молодняка, кормів тощо.

Реалізація вищенаведених напрямків розвитку дасть змогу перетворити тваринництво в рентабельну галузь і забезпечити потребу населення у високоякісних продуктах тваринництва, а промисловість – у сировині вітчизняного виробництва.

### **1.3 Напрями розвитку технічного оснащення виробничих процесів у тваринництві**

Відродження і розвиток тваринництва буде успішним і ефективним, якщо в цій галузі будуть застосовуватись нові пріоритетні технології та засоби механізації, технічне переоснащення діючих об'єктів, нові ферми і системи інженерно-технічного обслуговування та ремонту техніки, які адаптовані до рівня концентрації і спеціалізації виробництва, способів утримання і годівлі тварин.

При цьому пріоритетними напрямами розвитку техніки галузі є:

– запровадження інформаційних технологій, які забезпечують максимальне використання генетичного потенціалу тварин, проведення



широкомасштабної селекції тварин і підвищення їхньої продуктивності, годівля збалансованими кормо сумішами, комфортні умови утримання, а також комфортний зоотехнічний та ветеринарний облік і контроль;

– широке використання в конструкціях машин нових матеріалів та сучасних технологій виготовлення.

### **1.3.1 Напрями механізації та автоматизації виробництва молока і яловичини**

Найбільш поширеними способами утримання корів будуть прив'язне, безприв'язне і комбіноване з переходом у перспективі на безприв'язне утримання.

Тому підвищення ефективності виробництва молока буде проходити шляхом розширення масштабів застосування безприв'язного способу утримання корів із доїнням на установках типу “Ялинка”, “Тандем”, “Паралель”.

З метою забезпечення високої якості молочної продукції значення цього фактора виходить на перший план, сільгоспвиробники вимушені будуть оснащувати ферми вітчизняним та імпортом обладнанням, поетапним оновленням на основі блочно-модульної побудови елементно-агрегатної бази.

У найближчі роки створення, запровадження в виробництво і використання машин та обладнання буде здійснюватись за наступними напрямами:

– зональні технологічні комплекси для високоефективних технологій заготівлі кормів з включенням до їх складу ротаційних косарок з вальцьовими плющильними апаратами, ротаційних граблів, рулонних прес-підбирачів із подрібнювачами, прес-підбирачів для заготівлі грубих кормів та сінажу, пакувальників рулонів і тюків у плівку, а також комбінованих агрегатів, які виконують названі функції;

– культуртехнічні машини для видалення кущів, поверхневого та корінного покращення луків і пасовищ, збирання каміння;

– багатофункціональні фронтальні навантажувачі, які забезпечують відсікання корму від моноліта і завантаження їх у роздавачі-змішувачі;

– самохідні причіпні та стаціонарні агрегати, які здійснюють завантаження з подрібненням, змішуванням і дозованим роздаванням кормів;

– спеціалізовані цехи і автономні підприємства (кормові двори) для заготівлі та ефективного зберігання кормів, приготування збалансованих кормосумішів за оптимальним рецептом для кожного виду, стану і віку тварин, доставки кормів на ферму і роздаванням тваринам із гарантією та сертифікатом відповідності;

– подрібнювачі-роздавачі подрібненого корму з обладнанням для видавання комбікорму;

– високопродуктивне обладнання для доїльних залів на базі обладнання нового покоління із станками типу “Ялинка”, “Тандем”, “Паралель” із

електронною системою ідентифікації, індивідуальної нормованої годівлі, зоотехнічного і ветеринарного комп'ютерного контролю та обліку;

– танки-охолоджувачі молока закритого типу з автоматами для їхнього промивання і холодильними агрегатами безпосередньої дії без проміжного холодоносія;

– доїльні апарати щадячої дії (стимуляція, додоювання) із індивідуальними лічильниками молока і визначення ранніх стадій захворювання на мастит.

### **1.3.2 Напрями машинно-технологічної інтенсифікації свинарства**

Машинно-технологічна інтенсифікація свинарства означає переоснащення галузі машинами і технічними засобами:

– технічними засобами нового покоління для нормованої годівлі свиней, приготування високоякісних збалансованих кормових сумішей комплектом уніфікованого обладнання для виробництва свинини на фермах до 35 тис. голів;

– автоматизованими лініями приготування, транспортування і роздавання рідких кормів з об'ємним і ваговим дозуванням на основі комп'ютеризованих систем управління технологічними процесами;

– автоматизованими системами приготування комбікормів із заданим рецептом для кожної вікової групи, транспортування і роздавання автогодівницями;

– комплектами станкового обладнання із уніфікованих елементів для індивідуального і групового утримання тварин;

– новими системами нормованої годівлі холостих, супоросних свиноматок і ремонтного молодняку з використанням автоматизованих індивідуальних дозаторів із використанням інформаційних комп'ютерних технологій.

### **1.3.3 Технічне оснащення вівчарства**

З метою інтенсифікації вівчарства і отримання конкурентоспроможної продукції необхідно провести технічне переоснащення галузі, яке передбачає впровадження такої нової техніки:

– технічні засоби для транспортування переробки і роздавання кормів;

– пуховичесуючі апарати і стригальні агрегати підвищеної продуктивності праці;

– установки для купання з механізованою подачею тварин;

– автоматизовані системи локального обігріву ягнят і напування овець підігрітою водою;

– комплекти обладнання для доїння овець і переробки овечого молока.

### **1.3.4 Напрями оновлення технічної бази птахівництва**

Напрямами оновлення технічної бази птахівництва повинні бути:

– завершення створення і широке запровадження кліткового обладнання для вирощування, переважно яйцевого напрямку, із умонтованою системою кондиціювання повітря і підсушуванням посліду, автоматизованою системою

вентиляції з заданою програмою, дистанційним контролем та інтелектуальним управлінням усім технологічним обладнанням птахофабрики;

- організація виробництва та масове запровадження комплектів обладнання для підлогового вирощування та утримання птахів м'ясних порід та селекційних птахів яєчних порід;

- розроблення, виробництво та запровадження птахівничими підприємствами інкубаторів із автоматичним підтриманням режимів та камерами з 3-шарових панелів;

- розроблення нового обладнання, яке замінить традиційні централізовані системи опалення на автоматичний обігрів приміщень газовими тепло генераторами, інфрачервоних газових випромінювачів та систем утилізації теплоти;

- розроблення, виробництво і застосування комплексних автоматизованих ліній для товарної обробки яєць і переробки бройлерів.

### **1.3.5 Розвиток системи мікроклімату тваринництва**

Одним із напрямків збільшення виробництва продукції тваринництва має бути удосконалення системи мікроклімату виробничих приміщень, який передбачає:

- розробку високоефективних технічних засобів забезпечення мікроклімату в тваринницьких приміщеннях із системою управління на базі мікропроцесорної техніки;

- забезпечення ефективного енергоресурсозбереження з регульованим обміном повітря з використанням біологічного тепла тварин, очищення, дезодорації та санації повітря безпосередньо в зоні перебування тварин;

- розробку і запровадження технологій та технологічного обладнання “холодного” утримання телят в індивідуальних укриттях, корів при безприв'язному утриманні на періодично змінній підстилці та свиней на відгодівлі на змінній підстилці в групових станках-барложках;

- захист навколишнього середовища від забруднення вентиляційними викидами тваринницьких ферм.

### **1.3.6 Вирішення проблеми видалення та утилізації гною**

Для забезпечення необхідних санітарних умов та мікроклімату в тваринницьких приміщеннях і за їх межами необхідними умовами є:

- створення ресурсозберігаючих високонадійних і безпечних систем технічних засобів, які забезпечують механізацію та автоматизацію виконання операцій всередині приміщень із різними способами утримання тварин, у тому числі: внесення підстилки в стійла і станки, очищення стійл і станків від гною, транспортування його до місць зберігання, недопущення розбавлення гною водою;

- розробка проектів біогазових установок анаеробного бродіння рідкого гною;

- розробка ефективних систем видалення гною на великих тваринницьких комплексах і фермах, його зневоднення прес-фільтрами і

переробка на високоякісні добрива з очищенням та іншим використанням зворотної води;

– розробка проектів та технологічного обладнання промислових цехів прискореної переробки органічних відходів у високоякісні органічно-мінеральні добрива з заданими параметрами;

– удосконалення технологій підготування тваринницьких стоків і стокової води для використання їх як органічних добрив і для зрошення сільськогосподарських культур.

#### **1.4. Розвиток технічного сервісу машин та обладнання в тваринництві**

Ефективність використання техніки в тваринництві залежить від низки факторів як технічного (технологія утримання тварин об'ємно-планувальні рішення приміщень тощо), так і від організації її технічного сервісу. При цьому треба враховувати і особливості використання техніки в тваринництві (агресивність середовища, стаціонарність використання обладнання, необхідність проведення ремонтно-обслуговуючих робіт у технологічні перерви тощо).

Ремонтно-обслуговуюча база об'єктів тваринництва обґрунтовується виходячи із перспективної системи технологій і машин для галузі, а також із урахуванням періодів експлуатації техніки.

Основні параметри ремонтно-обслуговуючої бази для тваринництва визначаються виходячи із поголів'я тварин і питомих показників трудомісткості ремонтно-обслуговуючих робіт.

Аналіз та узагальнення досвіду організації технічного сервісу свідчить, що для тваринництва будуть мати розвиток такі сервісні підприємства:

- дилерські підприємства (фірми);
- спеціалізовані сервісні майстерні;
- універсальні ремонтно-обслуговуючі дільниці.

У забезпеченні та обслуговуванні техніки різних підгалузей тваринництва беруть участь велика кількість підприємств, які здійснюють реалізацію, постачання і монтаж, контролювання за дотриманням вимог до експлуатації, гарантійне обслуговування, постачання запасними частинами, технічне обслуговування і ремонт протягом терміну використання.

Форми реалізації техніки для тваринництва можуть бути такі:

- постачання техніки безпосередньо заводами, які виготовляють техніку;
- створення технічних центрів, які суміщають постачання, ремонт обслуговування;
- створення ринку техніки, яка уже використовувалась.

З метою вдосконалення інженерно-технічного забезпечення тваринництва будуть реалізовуватись такі напрямки:

- розробка ефективних форм і методів технічного сервісу та створення відповідного технологічного обладнання, приладів, оснащення, інструмента;
- обґрунтування ефективних форм придбання та використання техніки в тваринництві з урахуванням особливостей даної галузі;

- розробка системи автоматизованих систем управління інженерно-технічним забезпеченням у сфері обліку технічної готовності машин, матеріально-технічних ресурсів, техніко-економічних показників використання машин;
- розробка технологій технічного обслуговування машин та обладнання, створення уніфікованих технологій та вітчизняної і закордонної техніки;
- провести обґрунтування проектів об'єктів ремонтно-обслуговуючої бази для обладнання тваринницьких ферм.

## **2 Типи тваринницьких підприємств та їх обладнання**

### **2.1 Класифікація та основні типорозміри тваринницьких підприємств**

Виробництво тваринницької продукції здійснюється на спеціалізованих тваринницьких підприємствах: фермах і комплексах, у фермерських господарствах, а також у приватних господарствах.

За цільовим призначенням тваринницькі підприємства поділяються на племінні, репродукторні та товарні. Племінні підприємства займаються поліпшенням існуючих та виведенням нових порід тварин. Репродукторні здійснюють розмноження високопродуктивного поголів'я для забезпечення ними товарних підприємств. Товарні підприємства призначені для виробництва продукції тваринництва, яка забезпечує населення продуктами харчування, а промисловість – сировиною.

Залежно від виду тварин, що утримуються, тваринницькі підприємства поділяються на підприємства великої рогатої худоби, свинарські, вівчарські, птахівничі, звірівницькі та інші. Крім того, товарні тваринницькі підприємства спеціалізуються за видом продукції (за виробництвом молока, м'яса, яєць, вовни, хутра тощо).

Ферми великої рогатої худоби у залежності від напрямку виробництва поділяють на:

молочно–м'ясні – із закінченим оборотом стада, на яких утримують корів, ремонтний молодняк і молодняк для відгодівлі та реалізації на м'ясо;

молочні – на яких утримують корів і молодняк до 6–місячного віку та ремонтний молодняк віком понад 6 місяців. Молодняк, призначений для відгодівлі та реалізації на м'ясо, передають іншим фермам (бригадам) свого господарства або в спеціалізовані господарства;

молочні спеціалізовані – на яких утримують корів та телят до 15–20-денного віку, після чого останніх передають іншим фермам (бригадам)–свого або спеціалізованого господарства;

вирощування молодняка від 15–20-денного до 12–15-місячного віку, призначеного для відгодівлі та реалізації на м'ясо;

вирощування молодняка на м'ясо та відгодівля від 6 до 12–15-місячного віку або вирощування та відгодівля молодняка від 6 до 16–18-місячного віку;

відгодівля молодняка віком понад 12–15 місяців і вибракованої на м'ясо дорослої худоби. Номерклатура і розміри ферм та комплексів великої рогатої худоби коливаються в широких масштабах і представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 –Номенклатура та розміри ферм та комплексів великої рогатої худоби

Тип підприємства	Розміри ферм та комплексів	
	товарних	племінних
Для виробництва молока, голів:		
з прив'язним утриманням	400, 600 *, 800, 1200	400, 600*, 800
з безприв'язним утриманням	400, 600 *, 800, 1200	400, 600*, 800
Продовження таблиці 2.1		
Для вирощування ремонтних телиць, скотомісць:		
з 20 днів до 6 – 7-місячної тільності	1200 **, 3000, 6000	1000, 2000
з 4–6 місяців до 6 – 7-місячної тільності	900 *, 2000, 4500	1000, 2000
Репродукторні та м'ясні з повним оборотом стада, голів	600, 800, 1200, 1600	400, 600, 800
Для виробництва яловичини, скотомісць:		400, 600, 800
з 20 днів до 13–18 місяців	3000, 6000, 12000	
вирощування молодняка	2500, 5000, 10000	
дорощування »	2000, 4000, 8000	
відгодівля »	3000, 6000, 12000	
Дорощування та відгодівля молодняка з 4–6 до 16–18 місяців, скотомісць	3000, 6000, 19000	
Відгодівля дорослої худоби, скотомісць	1000, 3000, 5000	
Відгодівельні майданчики, голів	10000	
* Рекомендується при реконструкції та розширенні ферм		
** Рекомендується при введенні внутрішньогосподарської спеціалізації.		

Свинарство в невеликих господарствах розвивається переважно шляхом створення ферм із закінченим циклом виробництва. Досить перспективними є спеціалізовані ферми і комплекси з відтворення та відгодівлі свиней. Розмір цих підприємств складає від 6 до 108 тис. голів на рік. Підприємства на 54 тис. голів і більше проектується і будуються за індивідуальними замовленнями. До складу кожного великого комплексу входять репродукторна ферма і комбікормовий цех або завод. Номенклатура і розміри свиноферм і комплексів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2– Номенклатура і розміри свиноферм та комплексів

Тип підприємства	Розміри
Племінні, основних свиноматок	200, 300, 600
Репродукторні, тис. голів на рік	6, 12, 24
Товарні, тис. голів на рік:	
відгодівельні	12, 24
із закінченим виробничим циклом	6, 12, 24, 27, 54, 108

У вівчарстві на фермах і комплексах утримують і вирощують овець для одержання вовни, каракулевих смушків, м'яса, овчини, молока тощо. Розміри підприємств визначаються їхнім виробничим напрямком та породою овець. Номенклатура та розміри вівцеферм та комплексів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Номенклатура та розміри вівцеферм та комплексів

Тип підприємств	Розміри за напрямком виробництва		
	тонкорунне та напівтонкорунне	шубне і м'ясо-вовняно-молочне	Каракульське та м'ясо-сальне
Спеціалізовані маточні, голів	3000	500	3000
Ремонтного молодняка, скотомісць	3000, 6000, 9000	1000, 2000, 3000	3000, 6000, 9000
Відгодівельні, скотомісць	5000, 10000, 20000	1000, 2000, 4000	5000, 10000, 20000

Громадське птахівництво зосереджене на спеціалізованих птахофабриках, а також на колективних сільських підприємствах і птахофермах. Сучасне птахівництво на індустріальній основі – технологічно та технічно найбільш розвинута галузь тваринництва. Зокрема, птахофабрики – це крупні вузькоспеціалізовані підприємства промислового типу, які розраховані на утримання від 50 тис. до 1 млн. курей–несучок або на відгодівлю від 25 тис. до 10 млн. курчат–бройлерів на рік. Спеціалізовані сільгоспідприємства мають дещо менший обсяг виробництва (до 200 тис. курей–несучок або до 500 тис. бройлерів на рік). Ще менші за розміром спеціалізовані птахоферми колективних сільгоспідприємств (16, 20, 50 тис. курей–несучок або 500 тис. бройлерів на рік). Останні використовують дешеві місцеві корми і не розраховані на повний (закінчений) цикл виробництва.

Крім вказаних типорозмірів тваринницьких об'єктів, для підсобних господарств, а також підприємств, які використовують харчові та деякі інші промислові відходи, для фермерів чи інших малих колективів розробляються проекти ферм, розміри яких обумовлюються окремими завданнями.



## 2.2 Системи та способи утримання тварин і птиці

*Системи утримання ВРХ.* Відповідно до природно–економічних і організаційно–господарських умов застосовують стійлову, стійлово–пасовищну, стійлово–табірну, табірно–пасовищну і потоково–цехову системи утримання великої рогатої худоби .

При стійловій системі утримання тварини знаходяться протягом року в приміщеннях і на вигульних майданчиках ферми. Перебування на вигульних майданчиках триває не менше 2–4 годин на день. При даній системі практикують моціон (вигул) на спеціально обладнаних майданчиках або доріжках довжиною 1,5–2 км і шириною 8–10 м. Тварин годують заготовленими кормами з годівниць, якими обладнані приміщення і вигульні майданчики. Дана система застосовується в основному в тих господарствах, які не мають природних випасів.

У господарствах, де є пасовища, застосовують стійлово–пасовищну систему утримання, при якій у літній період тварини знаходяться в приміщеннях і на природних або культурних пасовищах, а в зимовий – у приміщеннях і на вигульних майданчиках. Максимальна відстань до найбільш далеких пасовищ не повинна перевищувати 3 км. У залежності від продуктивності на одну корову потрібно 0,2–0,3 га культурних пасовищ або 0,5–1,0 га природних оскільки в другій половині літа продуктивність пасовищ знижується, необхідно передбачити вирощування зелених кормів за рахунок спеціальних посівів.

При стійлово–табірній системі утримання в літній період тварин переводять із приміщень у табори біля кормових угідь. У таборах споруджують легкі будівлі, які необхідні для утримання і догляду за тваринами і забезпечення виробничих процесів. Під час перебування тварин у таборах в основних приміщеннях проводять дезинфекцію і ремонт.

Потоково–цехова система передбачає утримання корів в окремих цехах відповідно до визначеного фізіологічного стану: сухостою, отелення, роздою і запліднення та виробництва молока. Таку систему застосовують у великих господарствах з урахуванням специфіки утримання кожної групи тварин: сухостійні – без прив'язі; у цеху отелення – прив'язне без вигулу; роздою і запліднення – прив'язне з вигулом або випасом; у цеху виробництва молока – прив'язне з вигулом (випасом) або без прив'язі. У міру зміни фізіологічного стану тварин переводять в іншу групу.

*Способи утримання ВРХ.* У залежності від умов на фермах практикують прив'язне і безприв'язне утримання. Прив'язне утримання передбачає закріплення кожної тварини за відповідним скотомісцем прив'язуванням (фіксацією). Скотомісце (стійло) обладнано годівницею, поїлкою, засобами для видалення гною, догляду за тваринами і доїння (для корів).

Прив'язне утримання дає можливість забезпечувати індивідуальний догляд за тваринами, точно нормувати годівлю, спостерігати за їхнім фізіологічним станом і здоров'ям, а також успішно роздоювати корів. Поряд з цим утримання на прив'язі вимагає значних витрат праці та енергоресурсів на

роздачу кормів, організацію прогулянок (моціону). Тому кількість закріплених тварин за одним робітником не велика, а вартість продукції висока.

Безприв'язне утримання може бути вільно–вигульним на глибокій підстилці, що не змінюється протягом 6–12 місяців, або боксовим, при якому кожна тварина має окремий бокс для відпочинку.

Вільно–вигульне утримання на глибокій підстилці застосовується при виробництві м'яса і молока. Для того, щоб підстилка була сухою і теплою, необхідно періодично настилати новий шар її з розрахунку 4–5 кг на голову в день. Приміщення для вільно–вигульного утримання більш просторе. У ньому, як правило, відсутнє устаткування, що дає можливість розмістити в ньому у 1,5 рази більше тварин, ніж при прив'язному утримуванні. У середині приміщення поділяється на секції для кожної групи тварин по 30–60 голів у кожній з однаковим фізіологічно продуктивним рівнем. З приміщення тварини вільно виходять на вигульні майданчики з твердим покриттям. Вони обладнані годівницями для соковитих кормів, годівницями–навісами для грубих кормів, груповими автонапувалками з електропідігріванням у зимовий період. Тварини мають вільний доступ до кормів, тому їхній запас повинен бути достатнім.

Але вільно–вигульний спосіб утримування тварин на глибокій підстилці має ряд недоліків: порушується спокій тварин, більш сильні тварини вибирають кращий корм, збільшуються витрати кормів і підстилкового матеріалу, тварини травмуються.

Безприв'язно–боксове утримання не має недоліків, які характерні для вільно–вигульного утримання на глибокій підстилці. Бокси обладнані рядами стійл у приміщенні. Кожен бокс відгороджений дерев'яними чи металевими перегородками. Розміри боксу такі, що б у ньому помістилася одна тварина. Підлога в боксах, в основному, дерев'яна. Тварину у боксі не турбують інші тварини. Якщо бокси обладнані годівницями, то можна робити нормовану годівлю.

На молочних фермах із безприв'язним утриманням корів доять у доїльних залах, де їм згодовують концентровані корми. З вигульних майданчиків гній видаляється бульдозером.

При безприв'язному утриманні тварин потреба в підстилці, енергоносіях, засобах механізації, різному устаткуванні, а також витрати праці – нижче. Але і продуктивність тварин при цьому трохи менша, а витрати кормів більші, ніж при прив'язному утриманні.

*Системи і способи утримання свиней.* На свинарських фермах застосовують вільно–вигульну, станково–вигульну і безвигульну системи утримання тварин.

При вільно–вигульній системі свині протягом дня через лази в стіні свинарника вільно виходять на вигульні майданчики. Така система використовується для ремонтного молодняку, поросят, яких віднято від свиноматок і поросних свиноматок перших трьох місяців лактації.

Станково–вигульна система утримання використовується для кнурів–виробників, поросних маток 3–4 міс. і підсисних маток із поросятами, при якій тварин випускають індивідуально або окремими групами на прогулянку.

Поросних свиноматок розміщують групами по 10–12 голів. Площа підлоги на одну тварину складає 1,9–2 м<sup>2</sup>. Утримання великими групами недоцільне. При заповненні станків підбирають свиноматок одного віку, однакової живої маси і близьких за періодом поросності.

Узимку для поросних свиноматок необхідно організувати щоденні активні прогулянки, а влітку щоденно випускати їх не менш ніж на 4–6 годин на відкриті майданчики або пасовища.

Підсисних свиноматок утримують у свинарниках–маточниках. Перед розміщенням тварин приміщення ремонтують, очищають і дезінфікують. Станки миють гарячою водою і дезінфікують розчином каустичної соди. Дерев'яні станки білять свіжим розчином вапна.

Щоб свиноматка не придушила поросят і щоб полегшити догляд за свиноматками з поросятами, їх розміщують у спеціально обладнаних станках різної конструкції. Станки мають два відсіки: для свиноматки і для поросят. В останньому поросята відпочивають і підгодовуються. Відсік обладнується додатковим обігрівом. У комплект станка для поросних свиноматок входить установка для опромінення та обігріву поросят ИКУФ–1М, що складається з двох ламп: інфрачервоної – для обігріву та ультрафіолетової – для опромінення. Під дією цих ламп підвищується збереження поросят і створюється диференційована температура для свиноматок і приплоду.

У свинарниках–маточниках протягом року необхідно підтримувати температуру близько 20<sup>0</sup> С, а вологість – у межах 50–70 %. На 4–5-й добі після опоросу свиноматок випускають на прогулянки (без поросят) два рази на день тривалістю 20–30 хв, а з 10–15-ї доби випускають разом із поросятами.

При утриманні ремонтного молодняку самок і самців розміщують окремими групами по 10 голів. При цьому необхідно створити найкращі умови. Температура в приміщенні повинна бути в межах 18–20<sup>0</sup> С, а вологість – не більше 70%.

Для вирощування міцного і здорового молодняку необхідно забезпечити його моціон. У зимовий період молодняк необхідно випускати 2–3 рази на день на прогулянку загальною тривалістю не менше 2–2,5 години на відстань 1,5–2 км у два кінці. З весни і до пізньої осені ремонтний молодняк необхідно розміщувати на літніх майданчиках. Зелений корм, свіже повітря, сонце і спокійні рухи – найкращі умови для успішного росту і розвитку тварин.

Утримання відгодівельного поголів'я здійснюється групами по 10–15 голів у станках. У мірі росту групи переводять у станки більшою площею. Площа підлоги станка у середньому визначається з розрахунку 0,8 м<sup>2</sup> на одну голову. Станки обладнані груповими годівницями і напувалками. Для видалення гною використовують щілинні підлоги, під якими встановлюють скребкові транспортери або застосовують гідрозмив. У літню пору відгодівельне поголів'я доцільно утримувати на літніх відкритих майданчиках, обладнаних навісами. Широко використовується спосіб утримання відгодівельного поголів'я в закритих темних приміщеннях, які обладнані вентиляцією, де світло вмикають тільки в період годівлі. При даному способі свині великий проміжок часу відпочивають, не реагують на зовнішні

подразники і підіймаються тільки в період годівлі, що сприяє зменшенню витрат енергії на життєзабезпечення, а, отже, підвищенню продуктивності тварин.

*Системи і способи утримання овець.* У вівчарстві застосовують стійлово–табірну, пасовищно–стійлову, пасовищно–напівстійлову системи утримання овець. Пасовищної системи в Україні не практикують у зв'язку із великою розораністю земель.

У літній період вівці цілодобово перебувають на свіжому повітрі, широко використовуючи природні та сіяні пасовища, а також вигони, лісосмуги, балки, яри. При добре організованому пасовищному утриманні, правильному поєднанні використання штучних пасовищ із природними вівці за літо одержують 70–80 % річного приросту вовни. У деяких господарствах влітку застосовують стійлово–табірне утримання овець. Для цього споруджують літні табори із вигульно–кормовими майданчиками, годівницями, коритами для води чи автонапувалками. При такому утриманні тваринам згодують свіжоскошену зелену масу і на 1,5–2 год виганяють їх на пасовище (для моціону).

За літо ремонтують і дезинфікують кошари, бази, годівниці та інше обладнання. Основними приміщеннями ферм є вівчарні з базами, сховища для кормів, пункт штучного запліднення, літні вигульно–кормові майданчики, ванна чи душова установка для профілактичного купання овець, стригальний пункт. Кошари повинні бути світлими, сухими, з вентиляцією, зручними для використання.

Норма площі підлоги кошари на одну голову для кітних вівцематок – 2–2,5 м<sup>2</sup>, молодняка до року – 0,7–0,9 м<sup>2</sup>, для дорослих баранів – 1,5–2 м<sup>2</sup>. Оптимальна температура у вівчарнях для дорослих овець і молодняка старшого 5–місячного віку повинна бути 4–8 °С, а у вівчарні, де відбуваються окоти, – 15–18 °С при відносній вологості повітря 70–75 %.

Дуже важливе значення має зимівля овець. Успіх її залежить від заготівлі доброякісних кормів у достатній кількості та правильного використання їх, умов утримання тварин, а також від правильної організації праці чабанів. Особливо слід звернути увагу на годівлю овець, адже короткочасна незадовільна годівля позначається на якості вовни (утворюється «голодна тонина»). У зимовий період вівці якомога більше повинні перебувати на свіжому повітрі. Тривале утримання в кошарах, особливо тісних, призводить до погіршення їхнього здоров'я та якості вовни. Тільки під час негоди тварин не виганяють із кошари. Щоб не забруднювалася вовна, для підстилки використовують солому довгостеблих озимих. У степовій та лісостеповій зонах України можна практикувати вигульне утримання й зимовий випас овець при температурі до –8 °С на посівах озимих, природних пасовищах, якщо шар снігу не перевищує 15 см.

Важливим є забезпечення овець водою. При організації водопостачання ферм враховують те, що добова потреба води на дорослу вівцю становить 8–10, а для молодняка – 3–4 л.

*Системи і способи утримання птиці.* У птахівництві застосовують такі способи вирощування та утримання птиці: підлоговий, клітковий і комбінований. При першому способі поголів'я розміщують на підлозі, у цьому разі для нього можна обладнати вигули. Підлогове утримання практикують на глибокій підстилці або решітчастій чи сітчастій підлогах.

При клітковому утриманні птиця знаходиться в кліткових батареях, які становлять собою агрегати, що складаються із кліток, які розміщені в один або кілька ярусів. У клітки, наприклад, садять по 10 – 60 курчат, що значно підвищує ефективність використання приміщень. Обмеження руху птиці при цьому дає змогу економити до 25 % кормів.

Комбіновану систему утримання застосовують здебільшого при вирощуванні курчат та індичат. Так, курчат до 1,5–2-місячного віку утримують у клітках, потім їх переводять в умови підлогового утримання (в акліматизатори чи літні табірні будиночки), що дає змогу їм багато рухатися і добре розвиватися. З початком яйцекладки птицю переводять у клітки або в приміщення для дорослого поголів'я.

### **2.3 Обладнання для утримання великої рогатої худоби**

Основним обладнанням для утримання великої рогатої худоби є стійла, які обладнують в корівниках, і їхній тип залежить від способу утримання тварин. При прив'язному утриманні тварин у типових корівниках (рисунок 2.1) стійла обладнують уздовж приміщення в два або чотири ряди.

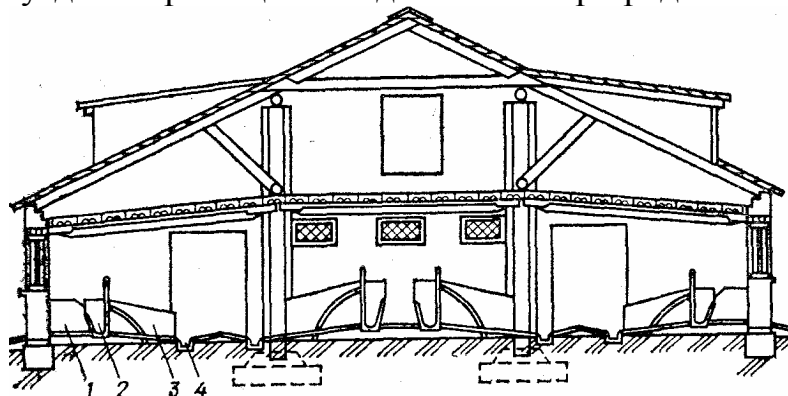


Рисунок 2.1 – Схема приміщення для утримання корів на прив'язі: 1 – кормовий прохід; 2 – годівниця; 3 – стійло; 4 – гнійова канавка

При прив'язному утриманні кожна тварина має своє стійло, в якому її фіксують, або вона сама фіксується за допомогою відповідного обладнання. Стійла при цьому можуть бути короткі або довгі (рисунок 2.2).

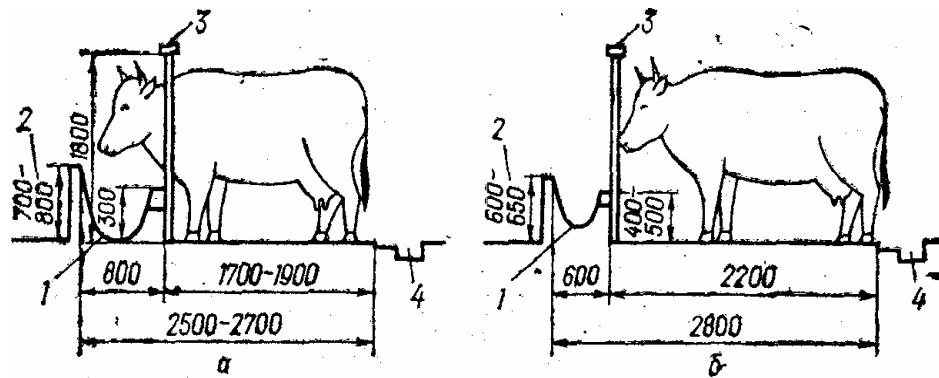


Рисунок 2.2 – Схема короткого (а) та довгого (б) стійл: 1 – годівниця; 2 – кормовий прохід; 3 – стійлова рама; 4 – гнойова канавка

Стійло оснащується годівницею, напувалкою та гнойовою канавою. Стійла в приміщенні розміщують повздовжніми паралельними рядами. Розміри їх залежать від групи та віку худоби, що утримується в даному приміщенні (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Розміри стійл, м

Група тварин	Довжина	Ширина
Корови:		
у корівниках	1,7–1,9	1–1,2
у пологових відділеннях	2	1,5
Дорослі тварини на відгодівлі	1,7–1,9	1–1,2
Молодняк на відгодівлі	1,2–1,7	0,6–1

Важливе значення при утриманні худоби на прив'язі має конструкція прив'язі, яка повинна обмежувати повздовжні переміщення тварин, але не заважати їхньому відпочинку, споживанню корму та води.

Прив'язі бувають: індивідуальні та групові; рамні; хомутові та ланцюгові; ручні, напівавтоматизовані та автоматизовані.

Стійлове обладнання ОСК–25 призначене для групового прив'язування та відв'язування корів. Воно складається з трубчатої рами з водопроводом для напування тварин, кронштейнів для кріплення вакуум– і молокопроводів та механізмів для групового та індивідуального прив'язування і відв'язування 25 корів (рисунок 2.3 а).

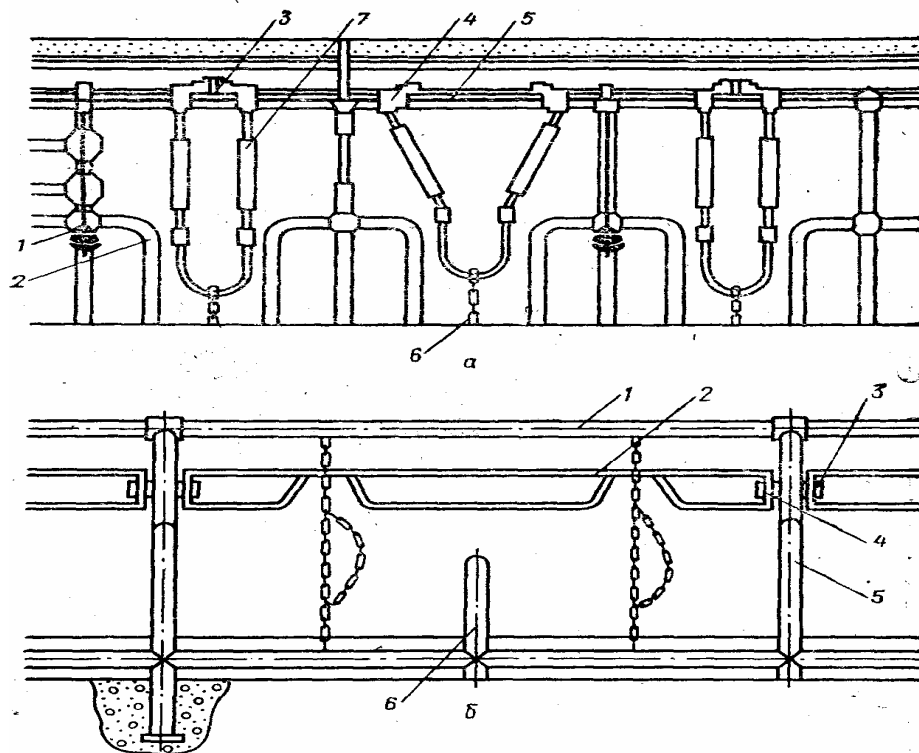


Рисунок 2.3 – Стійлове обладнання для утримання корів на прив'язі: *а* – групова жорстка прив'язь ОСК–25: 1 – автонапувалка; 2 – каркас; 3 – механізм прив'язування–відв'язування; 4 – кронштейн; 5 – привід прив'язі; 6 – обмежувальний ланцюг; 7 – шийна рама; *б* – групова ланцюгова прив'язь ОСК–25А: 1 – стійлова рама; 2 – обмежувач (на дві голови); 3 – кронштейн; 4 – регулювальна планка; 5, 6 – розподільник.

Стійлове обладнання ОСК–25 виконано таким чином, що верхня труба рами одночасно є і водопроводом. До вертикальних трубчастих стояків за допомогою кронштейнів прикріплюють автонапувалки, до верхньої водопровідної труби на повзунах – шийну трубчасту раму, яка фіксує корову в стійлі. Рама має два шарніри, які забезпечують певні можливості переміщення корови у стійлі (під час годівлі, напування, лежання). Повзуни всіх шийних рам з'єднані між собою штангами з фіксатором і механізмом приводу, тягами та ланцюгами. Фіксатори штанги постійно зчеплені з повзунами. Привід пересування повзунів здійснюється вручну за допомогою важеля, приводної зірочки і ланцюга. При повороті важеля повзуни розходяться в різні боки і розкривають шийні рами, відв'язуючи всю групу корів. Поворотом важеля механізму приводу в протилежному напрямку закривають шийні рами і прив'язують корів.

Обладнання ОСК–25А, на відміну від ОСК–25, дозволяє при відв'язуванні залишати окремих корів на прив'язі, а також відв'язувати окремих корів без розфіксації всієї групи. В ОСК–25А комплект шийних рам замінено на вертикальний і охоплюючий ланцюги, а механізми прив'язування з приводними штангами – на механізм відв'язування. Ланцюгова двокінцева прив'язь (рисунок 2.3 б) складається з вертикального довгого ланцюга: знизу він кріпиться до

підлоги стійла, а зверху фіксується на брусі стійлової рами. Вертикальний ланцюг проходить крізь нижнє і верхнє кільця короткого ланцюга – ошийника, який при підніманні та опусканні тварини ковзає по вертикальному ланцюгу.

Обладнання стійлове ОСК-Ф-27 забезпечує індивідуальне прив'язування, групове та індивідуальне відв'язування корів, кріплення молочних та вакуумних трубопроводів і підведення води. Порівняно з ОСК-25А дозволяє залишати будь-яку кількість тварин на прив'язі без додаткових ланцюгів при груповому відв'язуванні, має зручнішу і безпечнішу прив'яз тварин при їхньому підході до годівниці. Прив'язування здійснюється з боку кормового проходу і для цього скотарю не потрібно заходити в стійло. Труба прив'язі розміщена над годівницею і запобігає виходу тварини через годівницю в кормовий прохід, а також контакту ланцюга з підлогою і забрудненню його.

Збірне стійлове обладнання ОСП-Ф-26 призначене для самоприв'язування корів, групового та індивідуального їх відв'язування, а також для кріплення молоко- та вакуум-проводів, забезпечення тварин водою (рисунок 2.4).

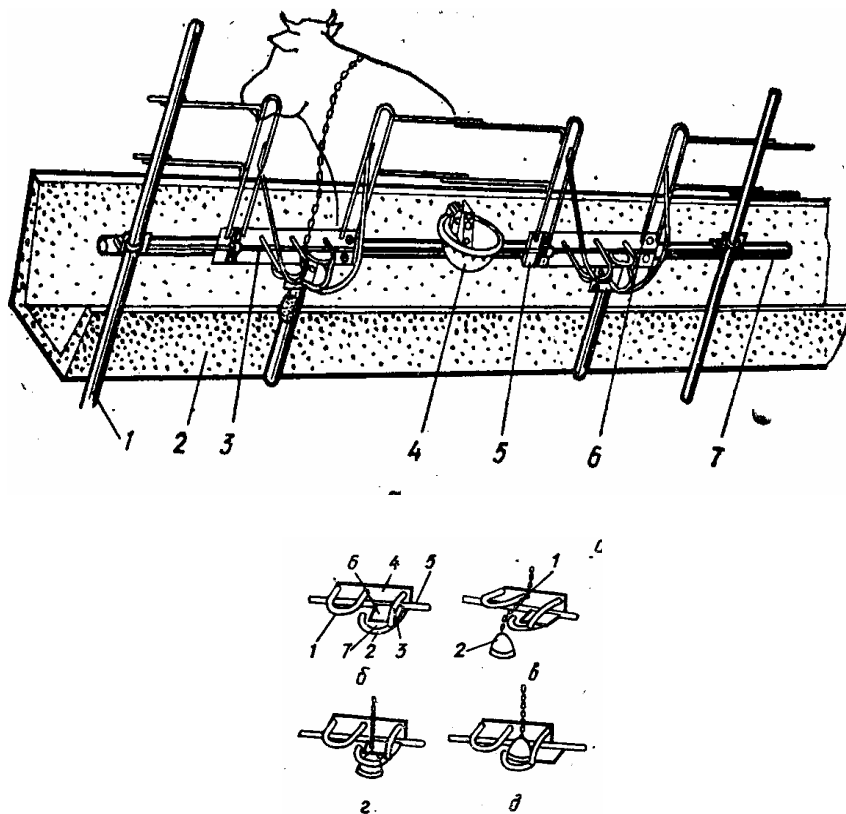


Рисунок 2.4 –Стійлове обладнання з автоматичною прив'яззю ОСП-Ф-26: **а** – загальний вигляд: 1 – стояк; 2 – годівниця; 3 – тяга; 4 – напувалка; 5 – пастка; 6 – плечовий обмежувач; 7 – водопровід; **б** – будова пастки: 1 – замкнута напрямна; 2 – відкрита напрямна; 3 – підтримувальний кронштейн; 4 – монтажна плита; 5 – тяга; 6 – пластина; 7 – петля; **в** – схема автоматичного прив'язування: 1 – ланцюг; 2 – гумовий тягар; **г, д** – відповідно зафіксоване і розфіксоване положення підвіски



Секція обладнання складається зі стійлової рами, яка має стояки з кронштейнами для кріплення молочного і вакуумного трубопроводів, основи з напувалками, що виконує функцію водопроводу, огорожі та прив'язі з пасткою. Бокові елементи огорожі є напрямними для підвіски, що забезпечує надійне підведення її до засувного пристрою пастки. Пастка з фіксуючою пластиною встановлюється у кожному стійлі перед годівницею на висоті 400–500 мм від підлоги. Фіксуючі пластини закріплені на загальній тязі, яка розміщена вздовж годівниць. На кінці тяги є важіль, який може розміщуватись у двох положеннях: для фіксації та розфіксації.

Прив'язь складається із закритої та відкритої напрямних, а також підтримуючого кронштейна, які жорстко закріплені на монтажній плиті.

Працює автоматична прив'язь так. Нашийник з підвіскою одягається на шию тварини і взаємодіє з пасткою при підході корови до годівниці. Коли корова підходить до годівниці, ланцюгова підвіска потрапляє між напрямними і фіксується за допомогою гумового тягарця. Для відв'язування корови важелем виводять запірну пластину із зони відкритої напрямної. Тоді тягарець може вільно вийти з пастки.

Модернізована автоматична прив'язь ОСП-Ф-26А відрізняється новою компоновкою пастки. Конструкція прив'язі не має гумового тягарця, чим усувається заклинювання ним ратиць корів.

Технічні характеристики стійлового обладнання наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика стійлового обладнання

Показники	ОСК-Ф-27	ОСП-Ф-26А
Кількість тварин, що обслуговується одним комплектом, голів	25	25
Тривалість прив'язування однієї тварини, с	35	–
Зусилля на важелі відв'язування, Н	150	100
Тривалість відв'язування групи тварин, с	–	6 –
Висота розміщення механізму прив'язі (фіксації), м	1,1	0,45
Ширина стійла, м	1,1	1,1–1,2
Маса комплекту, кг	690	600

При безприв'язному утриманні корів значно скорочуються витрати праці на виробництво молока і м'яса завдяки ефективному використанню сучасних засобів механізації роздавання кормів, доїння та видалення гною. Тварин цілорічно утримують без прив'язі, і вони вільно виходять на вигульно-кормові майданчики, де є годівниці, автонапувалки та навіси для грубих кормів. На кожну корову в приміщенні необхідно мати 4,5–5 м<sup>2</sup> підлоги, а на вигульно-кормовому майданчику – не менше 10 м<sup>2</sup> площі з твердим покриттям; для ремонтних телиць – 3–3,5 і 8–10 м<sup>2</sup> відповідно. Загальну довжину годівниць визначають із розрахунку 0,7–0,8 м на корову, 0,7 м для нетелів та 0,6 м на ремонтну телицю. Обладнання для безприв'язного утримання тварин показано на рисунках 2.5; 2.6.

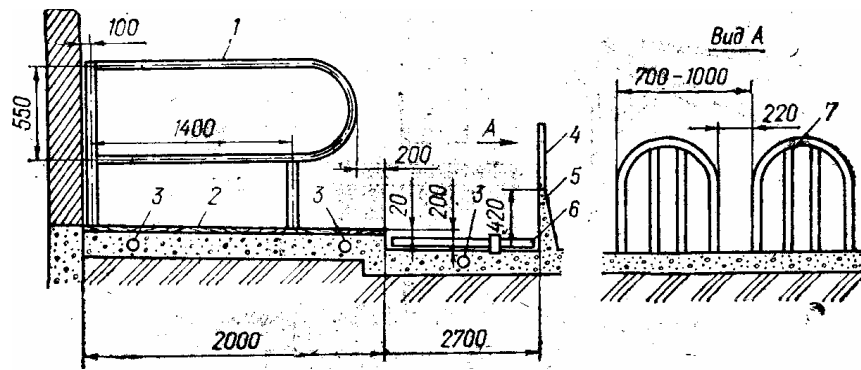


Рисунок 2.5 – Обладнання для боксового утримання корів: 1 – бічний розподільник; 2 – підлога (дерев'яна або гумовий килимок); 3 – пристрій для вирівнювання електричного потенціалу; 4 – фіксуючий пристрій; 5 – годівниця; 6 – скрепер для видалення гною; 7 – розподільник перед кормовим столом

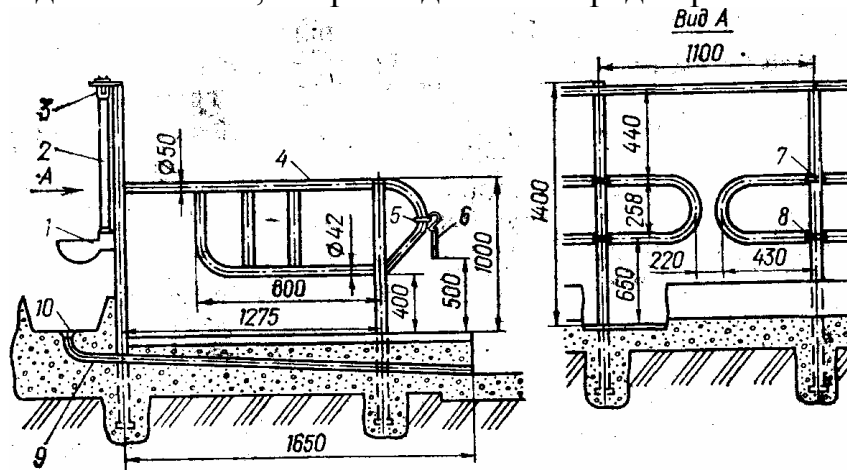


Рисунок 2.6 – Обладнання комбінованого бокса для утримання корів: 1 – напувалка; 2 – водопровід; 3 – хомут; 4 – боковий розподільник; 5 – скоба; 6 – капроновий канат; 7 – накладка; 8 – обмежувач до годівниці; 9 – труба для стікання води; 10 – годівниця

При цьому ефективний напрямок – це будівництво моноблочних багатопрольотних виробничих приміщень, що дозволяє значно скоротити їхню вартість і зменшити площу забудови. Внутрішнє планування такого приміщення показано на рисунку 2.7.

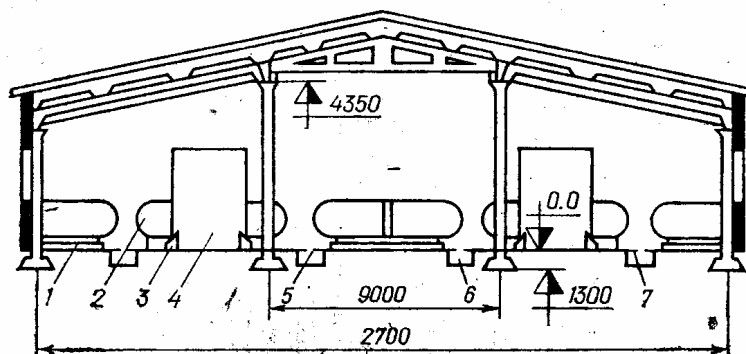


Рисунок 2.7 – Схема розміщення технологічного обладнання у корівнику на 400 голів (боксове утримання): 1 – бокс для відпочинку; 2 – комбінований бокс; 3 – годівниця; 4 – кормовий прохід; 5 – решітка; 6 – канал для видалення гною; 7 – гнойовий прохід

Корівник має по чотири ряди боксів, напівбоксів та годівниць. Для створення тваринам комфортних умов, крім основних боксів, для відпочинку обладнують кормові напівбоксові перед годівницями. Між годівницями передбачені кормові проходи шириною 2,3 м. Проходи між боксами призначені для видалення гною.

Новонароджені телята до 20-денного віку знаходяться в індивідуальних клітках КИТ 00.000 профілакторію пологового приміщення, від 20-денного до 3-х місячного віку їх утримують безприв'язно в індивідуальних клітках КИТ-Ф-12 або в групових станках ОСТ-Ф-32 по 10-15 голів, від трьох до шести місяців – у групових станках по 25-30 голів.

Для утримання новонароджених телят у профілакторіях використовують індивідуальні переносні клітки розміром 1,2x1 м. Площу групових станків для телят від 20-денного до 6-місячного віку визначають із розрахунку 2-2,5 м<sup>2</sup> на одну голову.

#### 2.4.Обладнання для утримання свиней

У господарствах і на промислових комплексах використовують станкове обладнання, конструкція якого залежить від вікового стану тварин. Так для утримання свиноматок застосовуються станки типів ОСМ-120, ОСМ-60, ССД-2, СОС-Ф-35 тощо.

Станкове обладнання ОСМ-120 призначене для опоросу свиноматок і утримання їх із поросятами до 30-денного віку. Після відлучення поросят утримують у цих же станках до 90-денного віку (рисунок 2.8)

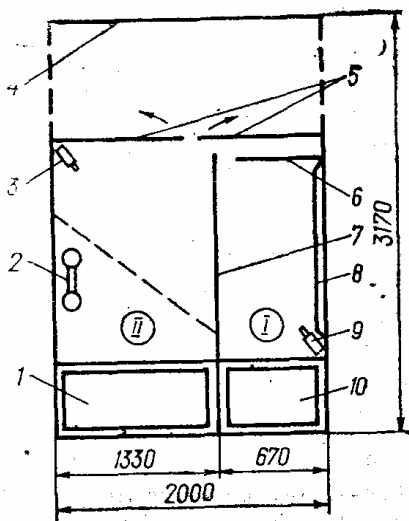


Рисунок 2.8 – Схема станка ОСМ-120: I – бокс для свиноматки; II – бокс для поросят; 1 і 10 – годівниці відповідно для поросят і свиноматки; 2 –

установка ИКУФ–1М; 3 і 9 – автонапувалки відповідно для поросят і свиноматки; 4 – задня стінка; 5 – задні перегородки; 6 – обмежувальна задня перегородка; 7 – бокова перегородка; 8 – обмежувальна бокова дуга.

Обладнання становить собою станки, внутрішні перегородки яких можна переставляти залежно від фізіологічного стану свиноматки і віку поросят. Наявність рухомої перегородки всередині станка дозволяє утворювати в ньому два бокси: для утримання свиноматки та поросят.

Одним із основних недоліків даної конструкції станкового обладнання є суміщення зон годівлі та відпочинку поросят. Крім того, конструкція не забезпечує двостороннього підходу поросят до свиноматки для годівлі.

Технічну характеристику цього обладнання, а також інших варіантів наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 –Характеристика і оснащення станків для підсисних свиноматок

Технічні засоби та їх показники	ОСМ–120	ОСМ–60	ССД–2	ССД–2М	СОС–Ф–35
Кормороздавачі	КС–1,5, РС–5А	КС–1,5, КШ–0,5	КШ–0,5	КСП–0,8	КЭС–1,7, КСП–0,8, КС–1,5
Автонапувалки	АС–Ф–25	(ПБС–1А, ПБП–1А)			
Засоби для прибирання гною	Механічні та гідравлічні				
Установки для обігрівування та опромінювання поросят–сисунів	ИКУФ–1М				
Потужність нагрівника, кВт	0,25	0,20,0,25	0,20,0,25	0,25	0,25
Продовження таблиці 2.7					
Терміни відлучення поросят, днів	30	60	26–35	35	35
Загальна площа станка, м <sup>2</sup>	6,34	7,65	9,00	10,10	3,64
Площа фіксуемого бокса для свиноматки, м <sup>2</sup>	1,40	1,50	1,40	1,51	1,40
Площа відділення свиноматки у розфіксованому стані, м <sup>2</sup>	4,52	3,40	–	–	–
Фронт годівлі для свиноматки, м	0,67	0,68	0,65	0,65	0,67
Фронт годівлі для поросят, м	0,13	0,14	0,05	0,05	0,05
Маса станка, кг	219	227	230	146	220

Станки ССД–2 і ССД–2М – спарені двосекційні (рисунок 2.9), призначені для опоросу і утримання двох свиноматок із поросятами. При цьому завдяки об'єднанню фронту годівлі для двох суміжних рядів досягається економне використання площі свинарника.

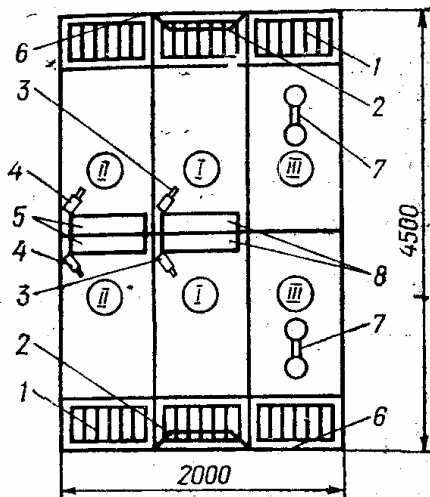


Рисунок 2.9 – Схема станка ССД–2: I – бокс для свиноматки; II – бокс для годівлі поросят; III – бокс для відпочинку поросят; 1 – щілинна підлога; 2 – обмежувальна задня дуга; 3 і 4 – автонапувалки для свиноматки і поросят відповідно; 5 і 8 – годівниці для поросят і свиноматки відповідно; 6 – дверці; 7 – установка ИКУФ–1М

Станок ССД–2 випускається замість станка ССИ–2 і відрізняється від нього відсутністю окремої зони для годівлі та напування свиноматки. Внаслідок цього станок ССД–2 займає меншу площу. Фіксація свиноматки зменшує ймовірність травмування і задушування поросят, а також зводить до мінімуму витрати праці на прибирання гною. Недолік станка ССД–2 полягає у тому, що свиноматка фіксується на весь підсисний період і позбавлена моціону.

Станки ССД–2 і ССД–2М входять до комплекту обладнання ОСМ–1М, що вписується у типові приміщення шириною 6, 12, 18 і 24 м. Комплект обладнання випускається у двох виконаннях: ОСМ–1М–2 для 60 підсисних свиноматок та ОСМ–1М–4 для 120 свиноматок.

Станки становлять собою збірно–розбірну конструкцію, яка виконана з труб та листового матеріалу з цинковим покриттям.

Передня кромка годівниць регулюється за висотою. Годівниці при очищенні перевертають у бік кормового проходу.

Вода до напувалок подається трубчастими елементами конструкції станка, які закріплені в єдину систему.

Станкове обладнання дозволяє використовувати різні системи прибирання гною: механічну–із застосуванням скребкових транспортерів, що встановлюються у задній частині станків з обладнаною щілинною підлогою, та гідравлічну – самоспливну, або змивну.

Поросят на дорощуванні утримують залежно від прийнятої технології гніздами (по 8–10 голів) або групами (по 20–25 голів) у станках з площею підлоги 0,35– 0,4 м<sup>2</sup> на одну голову.

Огорожа станка – суцільна, висотою 0,8 м, а біля решітчастої частини підлоги – із металевих решіток.

У свинарниках для дорощування виділяють кілька станків (5% загальної кількості) для утримання слабких, відсталих у рості поросят (не більше 12 голів у станку). Годують поросят із групових годівниць. Фронт годівлі при цьому дорівнює 20 см. Норми освітлення – такі ж самі, як і для підсисних поросят (75–100 лк).

Для утримання відлучених поросят застосовують групові станки КГО–Ф–10 (рисунок 2.10)

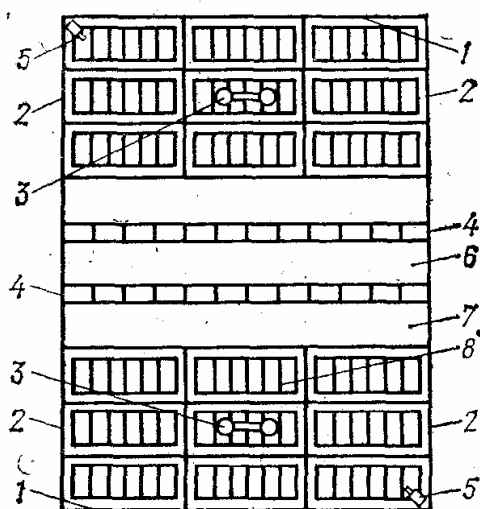


Рисунок 2.10 – Схема станка КГО–Ф–10: 1 – дверці; 2 – огорожа; 3 – установка ІКУФ–ІМ; 4 – самогодівниця; 5 – автонапувалка ПБП–1А; 7 – бункер самогодівниці; 8 – підлога

Станок КГО–Ф–10 з піднятою щільною підлогою – це збірно–розбірна конструкція у вигляді окремих кліток. Складається з огорожі 2, рами, підлоги, перегородок, перемичок, самогодівниць 4, дверцят 1. Рама є основою підлоги. Ширина щілин у підлозі (для видалення гною) – 13 мм, суцільної частини – 33 мм. Групова бункерна самогодівниця постійно підтримує рівень корму в міру його поїдання. Годують поросят сухими розсипними комбікормами, напувають з автонапувалок АС–Ф–25 або ПБП–1А Основні технічні показники станка КГО–Ф–10 наведено в таблиці 1.8

Таблиця 2.8 –Технічна характеристика станка для поросят КГО–Ф–10

Тип станка	Груповий
Кількість тварин у станку, голів	15
Тривалість утримання тварин у станку, днів	90–100
Годування	Сухими розсипними комбікормами

Роздавання кормів	3 групової бункерної годівниці
Напування	Автонапувалками АС–Ф–25 (ПБП–1А)
Прибирання гною	Гідравлічне
Обігрівання та опромінювання	Установка ИКУФ–ІМ
Потужність установки, кВт	0,25
Норма станкової площі на 1 голову, м <sup>2</sup>	0,35–0,40
Фронт годівлі на голову, м	0,20
Габаритні розміри станка, мм	2820×2520×900
Маса, кг	122

Експлуатують станки КГО–Ф–10 разом зі станками для опоросу свиноматок СОС–Ф–10.

Відгодівельне поголів'я розміщують у спеціальних приміщеннях групами по 10–15 голів, (але не більше 25) у станку (рисунок 1.13) з площею підлоги 0,8 м<sup>2</sup> на голову. Огорожа станка (висотою 1 м) – суцільна. Годують тварин з групових годівниць. Фронт годівлі становить 0,3 м.

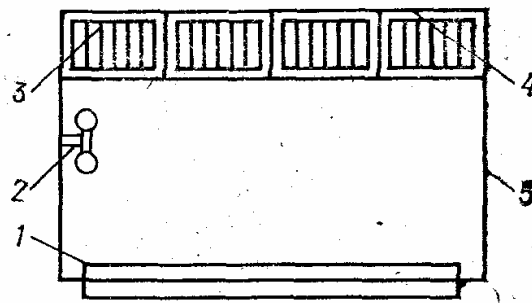


Рисунок 2.11 – Схема групового станка для відгодівельного поголів'я: 1 – годівниця; 2 – автонапувалка ПАС–2А; 3 – щілинна підлога; 4 – дверці; 5 – огорожа

Практика відгодівлі свиней у спеціалізованих господарствах показала, що кращі результати одержують при утриманні 10–12 голів у станку. Особливо це важливо при вирощуванні свиней на бекон. У цьому випадку доцільно застосовувати гніздовий спосіб вирощування і відгодівлі свиней. При відгодівлі підсвинкам живою масою до 30, 50, 70 і 110 кг рекомендується площа станка відповідно 0,35, 0,5, 0,6 та 0,7 м<sup>2</sup> на 1 голову. Четверта частина площі підлоги станка – решітчаста. Норма освітленості – 25–30 лк. Основні технічні показники станка для відгодівлі свиней наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 –Технічна характеристика станка для відгодівлі поголів'я свиней

Тип станка	Груповий
Припустима кількість свиней в одному станку, голів	25
Площа станка на 1 голову, м <sup>2</sup>	0,8
Гранична глибина станка (від краю годівниці до задньої стінки), м	2,7
Фронт годівлі на 1 голову, м	0,3
Годівля	Вологими кормами
Роздавання кормів	Кормороздавачами КЕС–1,7, КЕ–1,5, КУТ–3А
Автонапування	Напувалки ПАС–2А, ПСС–1А, АС–Ф–25 (ПБС–1А)
Прибирання гною	Механічне або гідравлічне

## 2.5 Обладнання для утримання птиці

Тип обладнання для утримання птиці залежить від багатьох факторів, і в першу чергу – від способу її утримання.

При підлоговому утриманні птиці на глибокій підстилці з комплексною механізацією і автоматичним керуванням процесами виробництва в пташниках застосовуються комплекти устаткування ЦБК–12А та ЦБК–18А, які розраховані для приміщень шириною відповідно 12 та 18 м і обслуговують 20,4 та 30 тис. голів птиці.

Комплекти обладнання дають змогу комплексно механізувати виробничі процеси у пташниках з вирощування курчат на м'ясо, починаючи з добового віку і до досягнення забійної маси у віці 70–90 днів, при бездозованій годівлі сухими повнораціонними кормами.

З перших днів утримання птиці застосовують електричний брудер БП–1, який забезпечує обігрівання курчат у перші дні життя (від 1 до 30 днів), схема якого показана на рисунку 2.12.



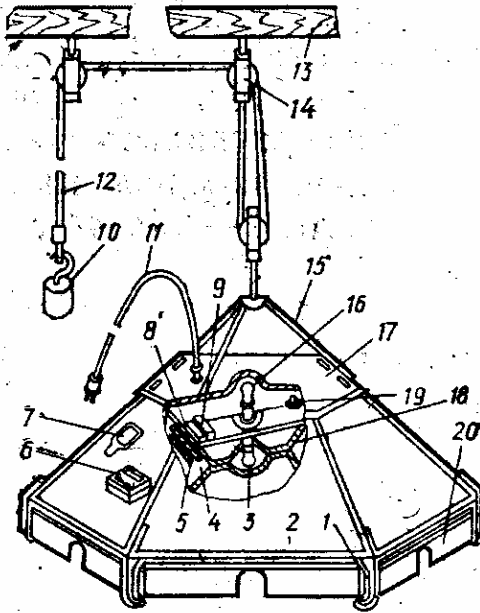


Рисунок 2.12 – Електричний брудер БП-1: 1 – стояк; 2 – боковина; 3 – освітлювальна лампа; 4 – відбивач; 5,18 – нагрівні елементи; 6 – температурне реле; 7 – клапан; 8 – рама; 9 – клемний пакет; 10 – противага; 11 – провід; 12 – трос; 13 – балка; 14 – блок; 15 – тяга; 16 – сигнальна лампа; 17 – кришка; 19 – запобіжник; 20 – шторка

Він складається із парасольки, вентиляційних вікон та пристрою для зміни висоти підвішування. На бічних стінках обігрівника встановлено чотири трубчастих електропідігрівачі. На спеціальних кронштейнах встановлено лампу освітлення, сигнальну лампу та запобіжник. За допомогою температурного реле під парасолькою підтримується задана температура в межах 24–38<sup>0</sup>С. Кожний брудер обігріває 500–600 курчат і має встановлену потужність 1000 Вт. Піднімають та опускають брудер за допомогою системи блоків, тросів і противаг.

Для годівлі курчат у віці від 1 до 5 днів навколо кожного брудера кладуть листи. Напувають курчат з вакуумних напувалок. Після 5 днів листи забирають і встановлюють жолобкові годівниці, а з 21-денного віку роздають корми за допомогою технологічного устаткування комплексу ЦБК.

Для роздавання кормів після 30-денного віку курчат у комплект обладнання входить кормороздавач, який складається з приводного механізму, дозувального пристрою, ланцюга із шайбами, трубчастих кормопроводів і системи підвішування. Кормопроводи встановлюються на висоті 2,2 м від підлоги. Під кожним отвором хомутами та планками закріплені відповідні патрубки, нижніми кінцями з'єднані з бункерними годівницями. У міру заповнення однієї годівниці та відповідного патрубка корм надходить у годівницю.

Бункерна годівниця (рисунок 2.13) місткістю 4,2 кг має конічну форму і виготовлена з листової оцинкованої сталі.

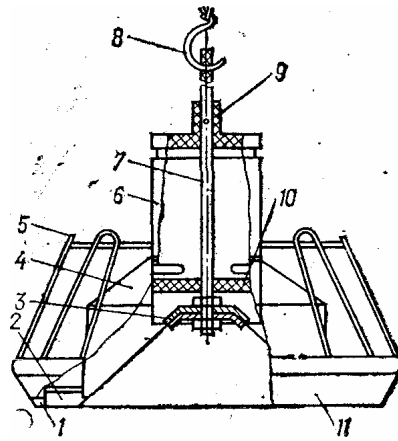


Рисунок 2.13 – Бункерна годівниця ЦБК-2-06А: 1 – підніжна сітка; 2 – кільце; 3 – чаша; 4 – розширювач; 5 – огорожа; 6 – бункер; 7 – вісь; 8 – гак; 9, 10 – кронштейни; 11 – піддон

Знизу до бункера годівниці на трьох пружинах підвішено піддон. Щоб курчата не проникали в піддон, передбачено огорожу. Бункер годівниці розрахований на добовий запас кормів, постійний шар яких підтримується в піддоні відповідно до величини кільцевого зазора між ним і ребром корпусу. Регулюють прохідний переріз між корпусом і піддоном переставлянням пружин на інші отвори.

Підвісні годівниці КЦБ-2А (рисунок 2.14) використовують для мінерального підкорму та гравію, які вручну періодично завантажують у бункер.

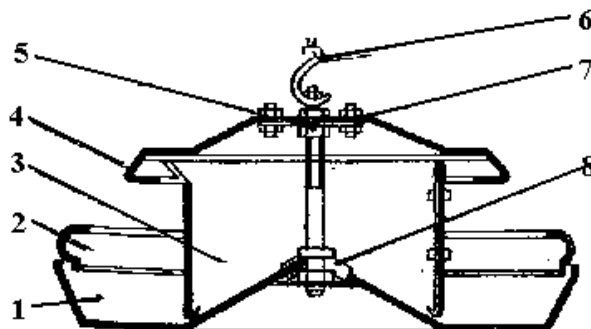


Рисунок 2.14 – Годівниця для мінерального підкорму і гравію КЦБ-2А: 1 – піддон; 2 – кільце; 3 – бункер; 4 – козирок; 5 – вісь; 6 – гак; 7 – кронштейн; 8 – різьбове з'єднання

Утримання курей на глибокій підстильці має суттєві недоліки: необхідно мати достатню кількість якісного підстилкового матеріалу;

кури часто несуть яйця поза гніздами, при цьому погіршуються харчові та інкубаційні властивості яєць в результаті забруднення, а на їх збирання витрачається багато праці;

значно погіршується мікроклімат у приміщеннях, а постійний контакт птиці з послідом створює умови для виникнення різних захворювань;

знижується ефективність засобів механізації і автоматизації, підвищується собівартість продукції.

У разі утримання птиці на утепленій підлозі комплексну механізацію з частковою автоматизацією виробничих процесів забезпечують комплекти обладнання:

для маточного стада курей яєчних та м'ясних порід (КМК–12 і КМК–18), індиків (ИВС–1,8), качок і гусей (КНУ–3, КНУ–5);

для ремонтного молодняка курей (КРМ–12 та КРМ–18), індиків (ИРС–2,3), качок і гусей (КРУ–3,5, КРУ–8);

для вирощування на м'ясо бройлерів (ЦБК–12А, ЦБК–18А), індичат (ИМС–4,5), каченят і гусенят (КМУ–10, КМУ–15).

Курчат–бройлерів від 1 до 56 днів вирощують також на сітчастій підлозі у пташниках, які оснащені технологічним комплектом К–П–5, а маточне стадо курей м'ясних порід – за інтенсивною технологією на сітчастій підлозі у поєднанні з глибокою підстилкою при обмеженій годівлі у пташниках з комплектом обладнання К–П–11. Видалення посліду з короба, який розміщений під сітчастою підлогою, забезпечується скребковим транспортером.

*Кліткове утримання.* Основне обладнання – це кліткові батареї, які забезпечують як дрібногруппове (2–6 голів у клітці) так і крупно–группове (по кілька десятків голів у клітці) утримання.

У конструкціях кліткових батарей останнім часом відбулися значні зміни, які пов'язані з удосконаленням технології утримання. Кліткові батареї бувають (рисунок 2.15) за кількістю кліток по вертикалі: одно–, дво– і багатоярусні; за кількістю кліток по горизонталі: одно–, дво– і багаторядні; за принципом взаємного розміщення кліток: одно– та двобічні; за принципом розміщення ярусів: вертикальні та каскадні або ступінчасті.

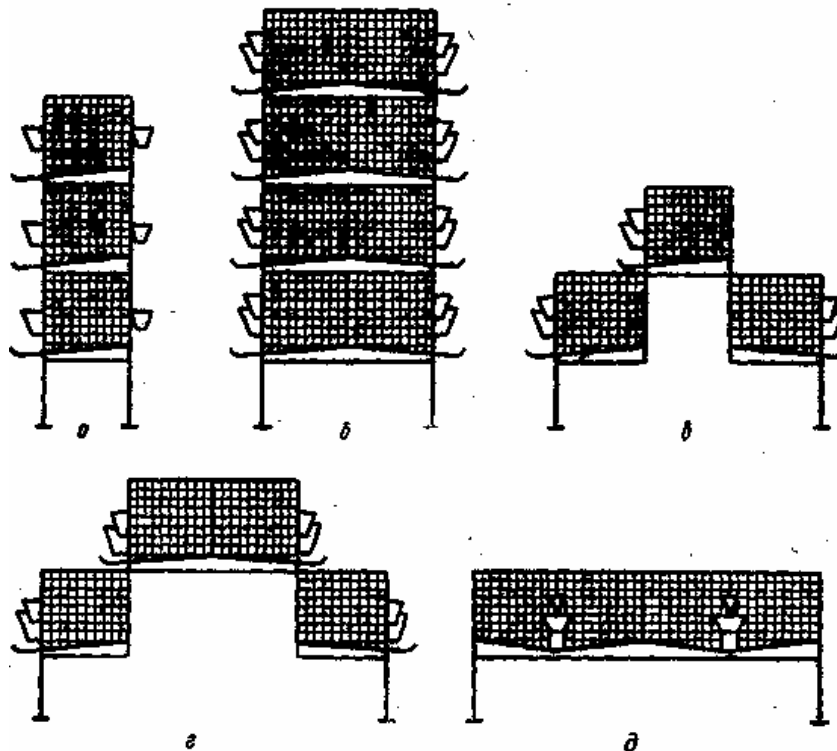


Рисунок 2.15 – Схеми кліткових батарей: а – вертикальна однорядна триярусна; б – вертикальна дворядна чотириярусна; в – каскадна трирядна; г – каскадна чотирирядна; д – горизонтальна чотирирядна

Кліткове утримання дозволяє: усунути сезонність виробництва; стимулювати ріст і розвиток молодняка, що створює сприятливі умови для збереження поголів'я та підвищення його продуктивності; знизити витрати кормів; підвищити ефективність використання виробничих площ та технічних засобів; покращити якість і знизити собівартість м'яса.

Удосконалення і впровадження потокових автоматизованих технологій у виробництві яєць та м'яса птиці потребують максимальної компактності виробничих приміщень та їхнього розміщення – відповідно до послідовності виробничого циклу. Успішна реалізація потокових автоматизованих технологій у птахівництві забезпечується такими умовами: перехід від павільйонної до компактної блочної чи моноблочної і багатоповерхової забудови, використання кліткового утримання птиці з високою щільністю посадки. Підлогове утримання застосовується в першу чергу для водоплавної птиці, індиків, а також маточного стада при вирощуванні ремонтного молодняка курей;

заміна мобільних транспортних засобів на території підприємства і начіпних пересувних механізмів автоматизованими транспортерами;

забезпечення безперервного ритмічного виробництва з почерговим заповненням і звільненням пташників за зміщеним графіком;

створення потоково-автоматизованих виробничих ліній (приготування, доставка і роздавання кормів, збирання і сортування яєць, прибирання і переробка посліду тощо) на базі магістральних конвеєрів, що з'єднують кліткові батареї і окремі пташники з відповідними загальногосподарськими виробничими об'єктами;

різке підвищення надійності та рівня технічної експлуатації обладнання, створення автоматизованих систем централізованого диспетчерського управління виробництвом;

забезпечення надійного біологічного захисту птиці, який ґрунтується на штучно створюваному оптимальному мікрокліматі та проведенні профілактичних заходів.

Промисловість випускає ряд комплектів машин та обладнання для комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів при утриманні птиці у кліткових батареях.

Для утримання маточного поголів'я курей разом із півнями призначені комплекти механізованого обладнання КП-15 «Прогрес» і КП-9. Промислове стадо курей-несучок утримують в автоматизованих чотирирусних кліткових батареях БКН-Ф-4, триярусних каскадних батареях БКН-3А тощо. Ремонтний молодняк вирощують від 1 до 140 днів у триярусних кліткових батареях БКМ-3В та КП-8. Комплекти обладнання двоярусних кліткових батарей 2Б-3 або триярусних БКМ-3Д застосовуються для вирощування бройлерів від першого дня до забою. Селекційну роботу з породами курей яєчного напрямку проводять у кліткових батареях БКС-2.

Кожна кліткова батарея – це відокремлена система сітчастих кліток для розміщення птиці (рисунок 2.16), які оснащені годівницями і автонапувалками (жолобковими або краплинними).

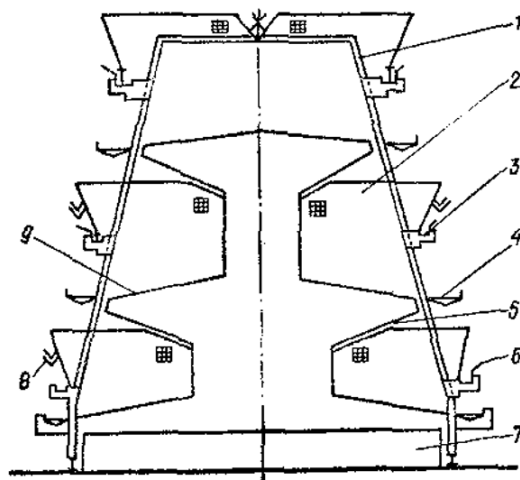


Рисунок 2.16 – Схема кліткової батареї для утримання курей-несучок (БКН-3А): 1 – каркас; 3 – блок кліток; 3 – кормороздавач; 4 – стрічковий яйцезбірний транспортер; 5 – настил для посліду; 6 – годівниця; 7 – скреперна установка для прибирання посліду; 8 – жолобкова напувалка; 9 – сітчаста підлога клітки

Батарея обслуговується засобами роздавання кормів та прибирання посліду, що провалюється крізь сітчасту підлогу кліток. У разі утримання курей-несучок батарея має також яйцезбірний транспортер.

Склад комплектів машин і обладнання при утриманні птиці на підлозі, а також при клітковому значною мірою уніфіковано.

На всіх типах підприємств з виробництва яєць і м'яса птиці передбачається годівля сухими повнораціонними розсипними чи гранульованими комбінованими кормами, здатними забезпечувати максимальну ефективність галузі та високу якість продукції. Приймання і зберігання комбікормів здійснюється за допомогою бункерів (БСК–10, БСК–25), які мають пристрої для завантаження кормів у бункери кормороздавачів.

Поперечні скребкові транспортери використовуються для прибирання посліду з–під коробів; транспортери, автоматичні укладальники яєць та яйцесортувальні машини – у лініях збирання і обробки яєць; електричні брудери (БП–1) –для обігрівання та опромінення курчат тощо.

### **3 Мікроклімат тваринницьких приміщень та обладнання для його підтримання**

#### **3.1 Загальні відомості**

Розвиток сучасного промислового виробництва продуктів тваринництва висуває ряд важливих проблем, до яких належать забезпечення і підтримання здорових умов мікроклімату тваринницьких приміщень. Від правильності вирішення цієї проблеми залежать значною мірою продуктивність, розвиток і збереження поголів'я тварин і птиці, вік служби тваринницьких приміщень, а також умови праці обслуговуючого персоналу.

Науковими дослідженнями встановлено, що продуктивність тварин на 60% залежить від якості кормів та рівня годівлі, на 20% від породи тварин та їхнього віку і на 20% – від умов утримання (мікроклімату). Відхилення параметрів мікроклімату в приміщеннях від установлених норм призводить до зниження надоїв молока до 10-20%, зменшення приросту маси до 20-30%, збільшення відходу молодняка до 5-40%, зниження яйценоскості птиці до 30-35%. При цьому додатково витрачаються корми, скорочується термін використання обладнання, машин та самих приміщень, зменшується стійкість тварин до різних захворювань. Погіршується також і якість тваринницької продукції: молоко забруднюється шкідливими газами і пилом, підвищується його кислотність і бактеріальна забрудненість; у курячих яйцях зменшується вміст вітамінів, а вовна у овець підривається і ламається.

Поліпшення умов мікроклімату приховує у собі великі можливості для знаходження виробничих резервів, у першу чергу, при реконструкції старих будівельних фондів, а також при будівництві та експлуатації великих підприємств промислового тваринництва. Тому вивчення параметрів мікроклімату дозволить використовувати накопичені знання в сільськогосподарській практиці з метою підвищення продуктивності тварин і продуктивності праці робітників.

Під мікрокліматом розуміють сукупність фізичних властивостей та хімічного складу повітряного середовища приміщень, особливо температуру, вологість, вміст шкідливих газів (насамперед вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, аміаку NH<sub>3</sub>, сірководню (H<sub>2</sub>S), а також мікроорганізмів і часток пилу. Крім того, сюди відносять рух повітря (його напрямок і швидкість) та умови освітленості в приміщенні.

Поняття «мікроклімат» було вперше запропоноване Леманом у 1931 р. (Вища школа землеробства у Відні). Він визначив мікроклімат приміщень як середній стан повітряного середовища, що впливає із процесу взаємодії таких метеорологічних елементів, як температура, вологість, випромінювання, тиск повітря і повітрообмін.

Мікроклімат тваринницьких приміщень визначається фізіологією тваринних, метеорологічними і технічними факторами.

#### *Фізіологічні фактори:*

– вимоги тварин до температури, вологості, швидкості руху повітря і вмісту газів у приміщенні, а також до освітленості;

– кількість тепла, вологи і газів, що віддається безпосередньо тваринами чи їхніми виділеннями, тобто утвориться в приміщенні при його експлуатації.

*Метеорологічні фактори:*

– умови зовнішнього клімату, які впливають на мікроклімат через конструкції, що обгороджують, і вентиляцію.

*Технічні фактори:*

- конструкція будівлі, особливо розміри, форма та обробка приміщень, а також розміри і теплоізоляція конструкцій, що обгороджують;
- вентиляція;
- опалення;
- освітленість.

З усіх факторів мікроклімату найбільший вплив на продуктивність сільськогосподарських тварин і використання ними корму чинить температура повітря. Це може бути пояснене тим, які біохімічні процеси постійно протікають в організмі тварини, що залежать від температури (перетворення поживних речовин на м'ясо, молоко і яйця). Крім того, тваринам необхідна енергія корму на підтримку фізіологічних функцій організму. У цьому відношенні важливо те, що кожна тварина має механізм терморегуляції, щоб при зміні температури навколишнього середовища температура тіла зберігалася постійною.

Під оптимальною температурою розуміють температуру, при якій тварини дають найвищу продуктивність при найменшій витраті корму, причому необхідне при цьому технологічне устаткування для забезпечення мікроклімату повинно бути економічно виправданим. Порушення як верхньої, так і нижньої межі оптимальної температури викликає перевитрати корму, зниження продуктивності, а також захворювання і навіть загибель тварин.

Оптимальні параметри мікроклімату для різних видів тварин наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Норми параметрів мікроклімату у тваринницьких і птахівницьких приміщеннях

Приміщення	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Освітленість, лк
Корівники з утриманням:				
прив'язним	8-10	80	0,3–0,5	70–80
безприв'язним	5-8	80	0,3–0,5	70-80
Пологові відділення	12-15	70	0,2–0,3	100–150
Телятники	10–12	75	0,3	100
Приміщення для великої рогатої худоби на відгодівлі	8–12	80	0,3	50
Свинарники-маточники	14–18	70	0,3	75



Свинарники-відгодівельники	14–20	75	0,3	50
Приміщення для утримання овець	3-5	80	0,5	50
Стайні	4-6	80	0,5	50
Пташники для дорослих курей				
Продовження таблиці 3.1				
при утриманні:				
напільним	10–12	75	0,3	75
клітковому	16–18	70	0,3	75

### 3.2 Джерела забруднення тваринницьких приміщень

До шкідливих газів з погляду мікроклімату відносяться головним чином вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), аміак ( $\text{NH}_3$ ), сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Крім цих обумовлених у повітрі тваринницьких приміщень газів, є ще речовини з неприємним запахом, такі, як скатол, інертол і меркаптан, вміст яких поки що неможливо виміряти, але можна визначити органолептичним шляхом. Скатол виникає з триптофану при бактеріальному розкладанні білка (хімічна формула — триметиліндол  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$ ) і надає калу тварин специфічного запаху. Меркаптани є спиртами, в яких атом кисню гідроксильної групи ( $-\text{OH}$ ) заміщений сіркою з неприємним запахом.

Вуглекислий газ — безбарвна, негорюча речовина з слабкокіслим запахом і смаком; відносна молекулярна маса —44; маса 1 л —1,83 г; щільність при  $0^\circ\text{C}$  —1,9778  $\text{кг}/\text{м}^3$ , у 1 л води розчиняється 1,71 л газу при  $0^\circ\text{C}$  і 0,88 л при  $+20^\circ\text{C}$ .

Вуглекислий газ є продуктом обміну речовин і виділяється при диханні. Велика частина газу, що міститься в повітрі тваринницьких приміщень, виділяється головним чином тваринами, менша частина утворюється при розкладанні калу, сечі та залишків корму. Виділення тваринами  $\text{CO}_2$  залежить від їхнього виду, віку і годівлі, а також від їхньої продуктивності.

У тварин високі концентрації вуглекислого газу можуть призвести до зменшення дихання, а при більш тривалому впливі до млявості, зниження продуктивності, зниженої опірності і навіть до хронічних отруєнь. Максимальна концентрація  $\text{CO}_2$  у зоні тварини складає близько 3500 ppm.

Велика концентрація  $\text{CO}_2$  у повітрі тваринницьких приміщень може бути усунена тільки правильним розрахунком вентиляції і правильною установкою вентиляційного устаткування. При такій вентиляції приміщень, коли відносна вологість повітря підтримується в допустимих межах, підвищеної концентрації  $\text{CO}_2$  не буває.

Аміак — безбарвний газ, з різким запахом; відносна молекулярна маса— 17,03; маса 1 л — 0,708 г; щільність при  $0^\circ\text{C}$ — 0,7714  $\text{кг}/\text{м}^3$ , одна частина води за обсягом розчиняє при  $0^\circ\text{C}$  1176 частин газу, при  $20^\circ\text{C}$  — 702 частини газу. Аміак дуже добре розчиняється у воді. Розчин  $\text{NH}_3$  має нейтральну реакцію. Аміак утворюється при гнитті органічних сполук, які мають білок; у тваринницьких приміщеннях це кал і сеча.

Шкода від занадто високих концентрацій  $\text{NH}_3$  виявляється в тому, що при вдиханні аміак розчиняється на слизових оболонках верхніх дихальних шляхів і призводить до їх хімічного опіку. Це відкриває шляхи для інфекцій, що наносять шкоди здоров'ю тварин і знижує їхню продуктивність. У цілому аміак більш шкідливий для тварин ніж вуглекислий газ.

Сірководень — це безбарвний, вкрай отрутний газ із запахом тухлих яєць. Відносна молекулярна маса—34,07; маса 1 л— 1,41 г; щільність при  $0^\circ\text{C}$ —1,5392 кг/м<sup>3</sup>. Розчинність його у воді знижується з підвищенням температури повітря. При  $0^\circ\text{C}$  та тиску 760 мм рт. ст. у 1 л води розчиняється 7,2 г  $\text{H}_2\text{S}$ , а при  $20^\circ\text{C}$  та тиску 760 мм рт. ст. — тільки 4 г. У цілому розчинність  $\text{H}_2\text{S}$  у воді менше, ніж  $\text{NH}_3$ ; розчин окислюється на повітрі з виділенням сірки (в осаді).

Сірководень виникає переважно при бактеріальному гнитті високобілкових продуктів рослинного і тваринного походження, насамперед у калі та гнойовій рідині. Сірководень є небезпечною отрутою для кровоносної і нервової систем, тому що при потраплянні в кров через легені він гальмує активність ферментів, які необхідні для дихання клітин і цим викликає параліч системи дихання.

В усіх тваринницьких приміщеннях має місце пил, який утворюється від підстилки, шкірних лусочок, часточок корму і часточок калу тварин, що висихає. Утворення пилу можна обмежити (але не позбутися від нього повністю) при переході до безпідстильного утримання тварин.

Наявність пилу у приміщеннях підвищує витрати на очищення огорожень станків, кормових огорожень, кліток і вентиляційно-опалювального устаткування. У зв'язку з тим, що пил в основному органічного походження, він є ідеальним середовищем для бактерій та грибів, що в присутності вологи і тепла забезпечує їхнє швидке, але небажане розмноження.

Одним із засобів боротьби зі шкідливими газами, пилом і мікробами є вентиляція приміщень.

### 3.3 Розрахунок повітрообміну тваринницьких приміщень

Розрахунок повітрообміну у тваринницьких приміщеннях визначають за формулою:

$$V_{\text{в}} = \frac{G_{\text{вр}}}{P_2 - P_1}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.1)$$

де  $V_{\text{в}}$  – кількість повітря, яке потрібно видалити (подати) з приміщення, м<sup>3</sup>/год;

$G_{\text{вр}}$  – кількість шкідливих речовин, які виділяють в приміщення тварини або птиці за годину, м<sup>3</sup>/год;

$P_2$  – припустимі концентрації шкідливих речовин у приміщенні, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$P_1$  - вміст шкідливих концентрацій у свіжому повітрі, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Кількість шкідливих речовин, які виділяються тваринами, визначають за формулою:

$$G_{вр} = \sum_{i=1}^n P_i m_i, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.2)$$

де  $P_i$  – кількість шкідливих речовин, які виділяються однією твариною або птицею за годину, л/год;

$m_i$  – кількість тварин, що знаходяться в приміщенні, гол.

Тоді

$$V_b = \frac{\sum_{i=1}^n P_i m_i}{P_2 - P_1}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.3)$$

Відношення об'єму повітря, яке подається в приміщення, до об'єму самого приміщення називається кратністю повітрообміну, яка показує, скільки разів протягом години повністю замінюється повітря у приміщенні.

Кратність повітрообміну визначається зі співвідношення:

$$K = \frac{V_b}{V_n}, \quad (3.4)$$

де  $V_n$  – корисний об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Якщо кратність повітрообміну не перевищує 3, то використовують природну вентиляцію, а якщо більше 3 – примусову. При повітрообміну більше 5 підігривають (охолоджують) повітря, яке надходить до приміщення.

### 3.4 Типи вентиляційних пристроїв

Вентиляцією називається сукупність заходів та пристроїв, що забезпечують необхідний стан повітряного середовища в тваринницьких приміщеннях згідно з зоотехнічними вимогами.

Вентиляція, яка служить для подачі зовнішнього свіжого повітря в приміщення, називається припливною, а для видалення – відпливною. Залежно від способу руху повітря вентиляція буває природна, штучна і комбінована.

У природних системах вентиляції рух повітря відбувається за рахунок різниці тисків стовпів внутрішнього і зовнішнього повітря та вітрового тиску, а у механічних – за допомогою вентиляторів.

Класифікація вентиляційних пристроїв тваринницьких приміщень представлена на рисунку 3.1. Основними умовами, що визначають вибір конструкції вентиляційних пристроїв, є економіка господарства, його технічна оснащеність, технологія утримання і умови розміщення тварин.

Системи вентиляції тваринницьких приміщень повинні забезпечувати:

подачу свіжого і видалення забрудненого повітря безпосередньо із зон перебування тварин і птиці;

необхідну температуру, вологість, газовий склад і швидкість руху повітря незалежно від пори року;

незалежність роботи від зовнішніх метеорологічних умов;  
 відсутність різких змін температур в приміщенні і протягів;  
 найбільш доцільне використання тепловиділень тварин;  
 простоту, зручність, надійність та економічність експлуатації.

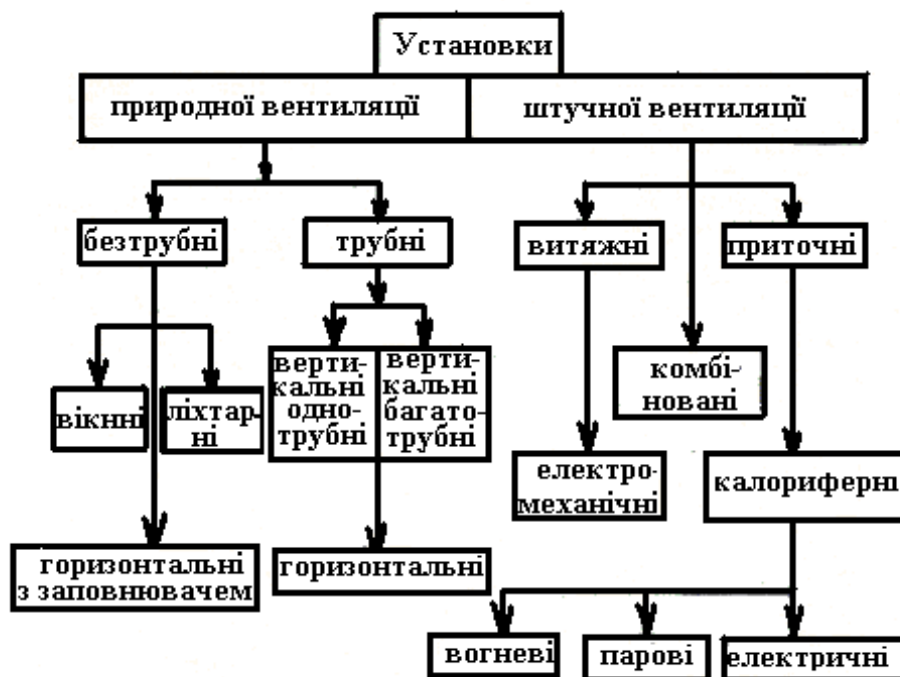


Рисунок 3.1 - Класифікація вентиляційних установок

### 3.5 Розрахунок природної вентиляції

У виробничому приміщенні при природній вентиляції більш холодне зовнішнє повітря витісняє більш тепле.

Нагріте повітря легше від холодного і внаслідок цього прагне до стелі. Якщо у верхній частині приміщення є отвори, то повітря через них виходить назовні. Замість нього в приміщення входить така ж кількість холодного повітря. Таким чином, створюється природний повітрообмін з витяжкою з верхніх частин приміщення і припливом у нижніх частинах. Розрахункову схему природної вентиляції представлено на рисунку 3.2.

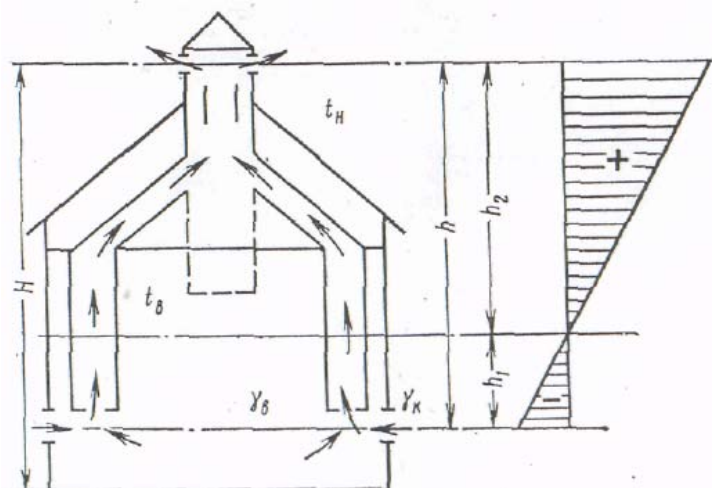


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема природної вентиляції приміщень

Середній тиск повітря в приміщенні дорівнює тиску навколишнього атмосферного повітря. Але точна їхня рівність спостерігається в якійсь горизонтальній площині, між підлогою і стелею приміщення, яка називається площиною рівних тисків. Тиск у навколишній атмосфері і на рівні цієї площини умовно приймається рівним нулю. Температура в приміщенні  $t_b$  вища за зовнішню,  $t_3$  і вага  $1 \text{ м}^3$  повітря в ньому (питома вага)  $\gamma_b$  буде меншою за питому вагу повітря атмосфери  $\gamma_3$ . Вага стовпа повітря висотою  $h_1$  від центра приточних каналів до площини рівних тисків складає усередині приміщення  $h_1\gamma_b$ , а в навколишній атмосфері  $h_1\gamma_3$ . На рівні центра приточних каналів з боку зовнішнього повітря створюється надмірний тиск, рівний різниці ваги стовпів повітря, тобто

$$H_1 = h_1\gamma_3 - h_1\gamma_b = h_1(\gamma_3 - \gamma_b), \text{ Па.} \quad (3.5)$$

Аналогічно міркуючи, можна встановити, що різниця тисків на рівні центра верхніх (витяжних) отворів складе  $H_2 = h_2(\gamma_3 - \gamma_b)$  Па, причому тиск у приміщенні вище від зовнішнього. Під впливом зазначених різниць тиску відбувається повітрообмін. Загальна величина теплового напору складає:

$$H_T = H_1 + H_2 = h(\gamma_3 - \gamma_b), \text{ Па.} \quad (3.6)$$

Таким чином, тепловий напір дорівнює добутку різниці питомих ваг повітря на вертикальну відстань між серединами нижніх і верхніх отворів. З наведеної формули випливає, що збільшення вертикальної відстані між отворами призводить до збільшення теплового напору.

На вентиляцію великий вплив справляє швидкість руху повітря (таблиця 3.2):

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{h_k(t_d - t_3)}{273}}, \text{ м/с,} \quad (3.7)$$

де  $h_k$  – висота витяжних каналів, рівна 3–9 м;

$t_d$  – припустима температура усередині приміщення, °С;

$t_p$  – середня температура осінніх і весняних періодів місцевості, °С.

На динаміку вентиляції істотний вплив чинить і вітер, що створює потік повітря при раптовому гальмуванні; величина його найбільшого тиску дорівнює:

$$H_B = H_d = \frac{v_0^2 \cdot \gamma_3}{2g}, \text{ Па,} \quad (3.8)$$

де  $H_B=H_d$  – вітровий, чи динамічний (швидкісний), тиск,  $\text{кг/м}^2$ ;

$v_0$  – швидкість зовнішнього повітря, м/с;

$\gamma_3$  – питома вага атмосферного повітря,  $\text{Н/м}^3$ ;

$g$  – прискорення земного тяжіння,  $\text{м/с}^2$ .

Таблиця 3.2 – Швидкість руху повітря в каналах при різній висоті труби та різниці температур, м/с.

Вн	Температурні різниці ( $t_b - t_3$ ), °C									
	4	5	6	8	10	15	20	25	30	40
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	0,49	0,59	0,69	0,75	0,80	0,93
3	0,36	0,41	0,45	0,52	0,69	0,73	0,84	0,92	0,99	1,13
4	0,43	0,48	0,53	0,61	0,69	0,84	0,96	1,06	1,14	1,30
5	0,49	0,55	0,60	0,68	0,77	0,94	1,07	1,18	1,28	1,44
6	0,54	0,60	0,66	0,76	0,84	1,03	1,17	1,30	1,40	1,58
7	0,58	0,65	0,72	0,82	0,91-	1,11	1,20	1,40	1,52	1,71
8	0,62	0,69	0,77	0,87	0,97	1,10	1,35	1,50	1,69	1,83
9	0,66	0,73	0,81	0,93	1,02	1,26	1,42	1,58	1,72	1,94

Загальну площу відкритих витяжних каналів визначають за обсягом повітря  $V_b$ , яке повинно надходити в приміщення і видалятися з нього. Загальна площа витяжних каналів дорівнює:

$$F_b = \frac{V_b}{3600 \cdot v}, \text{ м}^2. \quad (2.9)$$

Число каналів визначають за формулою:

$$k = \frac{F_b}{f_b}, \quad (3.10)$$

де  $f_b$  – поперечний внутрішній перетин одного витяжного каналу розміром 0,4×0,4; 0,5×0,5 чи 0,6×0,6 м.

Канали повинні виступати над коником даху приміщення на висоту 0,5 м, інакше повітрообмін буде нерівномірним.

Обсяг приточного повітря ( $\text{м}^3$ ) визначають за формулою:

$$L_n = V_b (1 - \beta), \text{ м}^3, \quad (3.11)$$

де  $\beta=0,3 \div 0,5$ -коефіцієнт природного проникнення повітря через пори. Перша цифра – для цегельних і глинобитних стін, друга – для дерев'яних.

Загальну площу приточних каналів обчислюють за формулою:

$$F_n = \frac{L_n}{3600 \cdot v}, \text{ м}^2. \quad (3.12)$$

Число каналів знаходять з рівняння

$$k_{\text{п}} = \frac{F_{\text{п}}}{f_{\text{п}}} \quad (3.13)$$

де  $f_{\text{п}}=0,25 \times 0,25$  м – площа поперечного внутрішнього, що рекомендується, перетину приточного каналу.

При видаленні надлишкового тепла об'єм повітрообміну визначається за формулою:

$$V = \frac{Q_{\text{п}}}{0,24(t_{\text{в}} - t_{\text{з}})}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.14)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – надлишки тепла в приміщенні, ккал/год;

$t_{\text{з}}$  – температура зовнішнього повітря;

$t_{\text{в}}$  – температура повітря, що іде з приміщення через витяжні канали, яка визначається за емпіричною формулою:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{з}} + k(H - h), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.15)$$

де  $t_{\text{з}}$  – температура повітря в робочій зоні аерації, приймається на 3–5°C вище від температури зовнішнього повітря;

$k$ - коефіцієнт наростання температури повітря за висотою приміщення, тобто температурний градієнт, рівний 1...1,5;

$H$  – відстань від підлоги до центра витяжних фрамуг, м;

$h$  – висота робочої зони, м .

### 3.6 Розрахунок штучної вентиляції

Вентиляція зі штучним подаванням повітря переважає природну тому, що електромеханічні збудники видаляють із приміщення потрібну кількість повітря і подають свіже повітря в будь-яке місце приміщення. Таким чином, для тварин створюються оптимальні умови навколишнього середовища.

Розрахунок вентиляційних систем проводиться з урахуванням того, що вони повинні працювати періодично, тому їхня продуктивність у 2–3 рази вища, ніж  $V_{\text{в}}$ .

Продуктивність вентилятора визначають за формулою:

$$Q = \frac{(2 \div 3)V_{\text{в}}}{K_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.16)$$

де  $K_{\text{в}}$  – число витяжних каналів.

Двох-триразове збільшення повітрообміну необхідне для резервування часу на проведення профілактичних і інших заходів системи вентиляції. При  $Q \leq 8000$  м<sup>3</sup>/год вибирають схему з одним вентилятором, при  $Q > 8000$  м<sup>3</sup>/год – з

декількома. При цьому продуктивність кожного вентилятора не повинна бути більшою, ніж 8000 м<sup>3</sup>/ч. Діаметр трубопроводу розраховують за формулою:

$$D = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{Q'}{\pi v_T}}, \text{ м}, \quad (3.17)$$

де  $Q'$  – продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/год;

$v_T$  – швидкість повітря в трубопроводі,  $v_T = 10 \div 15$  м/год. Підраховують втрати напору в трубопроводі:

$$H_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\gamma v_T^2}{2g}, \text{ Па}, \quad (3.18)$$

де  $\lambda = 0,02$  – коефіцієнт тертя повітря;

$\gamma = 1,2$  Н/м<sup>3</sup> – питома вага повітря;

$L$  – довжина трубопроводу, м;

$g$  – прискорення сили ваги.

Втрати напору від місцевих опорів підраховують за формулою:

$$h_{\text{м.с}} = \frac{\gamma v_T^2}{2g} \sum \zeta, \text{ Па}, \quad (3.19)$$

де  $\sum \zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів втрат напору від місцевих опорів

Найменування місцевого опору	Величина коефіцієнта $\sum \zeta$
Коліно з кутом $\alpha = 90^\circ$	1,1
$\alpha = 120^\circ$	0,55
$\alpha = 150^\circ$	0,20
Відвід при $R/D = 1$	0,25
$R/D = 1,5$	0,175
$R/D = 2$	0,15
Раптове звуження при $f/F = 0,1$	0,29
» » » $f/F = 0,3$	0,25
» » » $f/F = 0,4$	0,21
» » » $f/F = 0,5$	0,18
Раптове розширення при $f/F = 0,1$	0,81
» » » $f/F = 0,3$	0,49
» » » $f/F = 0,5$	0,25
Продовження таблиці 3.3	
Дросель чи засувка	0,01–0,08
Бічний вихід	1,0



Вхід із кінця	0,3
Вихід із кінця	1,0
Сітка при живому перетині, %	0,1
Жалюзі (вихід)	3,0
Жалюзі (вхід)	0,5

Примітка:  $\alpha$  – кут;  $R$  – радіус відводу;  $D$  -діаметр магістралі;  $f$  – поперечний переріз відводу;  $F$  – поперечний переріз магістралі.

Тоді загальні втрати складуть:

$$H = H_{тр} + h_{м.с} , \text{ Па.} \quad (3.20)$$

Знаючи продуктивність і швидкість руху повітря, за номограмами (рисунок 3.3) визначають номер вентилятора і потім на перетинанні з  $H$  знаходять його параметр  $A$  та к.к.д. ( $\eta_v$ ).

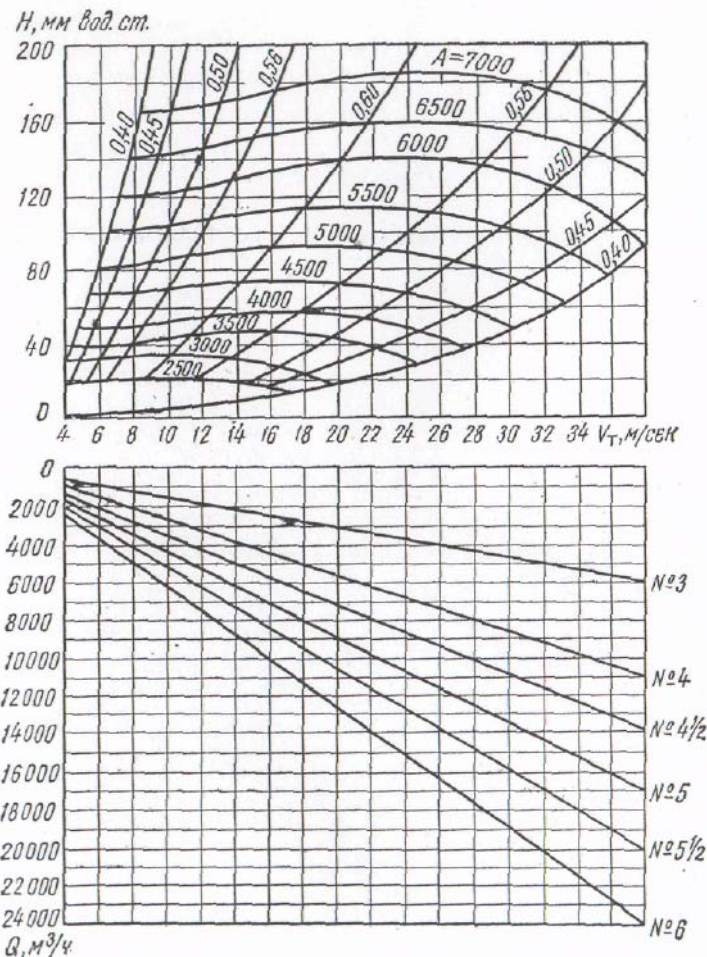


Рисунок 3.3 - Номограма для вибору відцентрових вентиляторів

Частоту обертання вентилятора визначають за формулою:

$$n = \frac{A}{60N_2} , \text{ c}^{-1} , \quad (3.21)$$

де № - номер вентилятора.

Розрахункову потужність двигуна визначають за формулою:

$$N_{\text{дв}} = \frac{Q' H_1}{\eta_{\text{в}} \eta_{\text{пер}}}, \text{ Вт}, \quad (3.22)$$

де  $H_1$  – напір, створюваний вентилятором, мм вод. ст.;

$Q'$  - необхідна продуктивність вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\eta_{\text{в}}$  – к.к.д. вентилятора, рівний для осьових однолопатевих  $0,2 \div 0,3$ ; для осьових багатопатевих  $0,44 \div 0,6$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  – к.п.д. для пасових передач  $0,85 \div 0,9$ .

Потужність збільшують при  $N_{\text{дв}} < 1,5$  кВт на 50%, при  $N_{\text{дв}} = 2$  кВт на 25%, при  $N_{\text{дв}} = 4 \div 7$  кВт на 20% і при  $N_{\text{дв}} > 7,5$  кВт на 10%.

### 3.7 Нагрівання приточного повітря

Приточне повітря підігрівають при кратності повітрообміну  $K > 5$ .

Загальну теплопродуктивність обладнання для конкретного тваринницького приміщення обчислюють за рівнянням:

$$Q_3 = Q_{\text{п.п}} + Q_6 - Q_{\text{т}}, \text{ кДж}. \quad (3.23)$$

Це тепло необхідно компенсувати тепловими установками з паровим, водяним чи повітряним теплоносієм.

Кількість тепла, яка необхідна для підігріву повітря, знаходять за формулою

$$Q_{\text{п.п}} = 1,3(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}), \text{ кДж}. \quad (3.24)$$

Теплові втрати будівлі підраховують за рівнянням:

$$Q_6 = KF(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}), \text{ кДж}, \quad (3.25)$$

де  $F$  – площа стін і стелі приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$K$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\text{кДж}/\text{год. М. град}$  (таблиця 3.4);

$t_{\text{ст}}$  і  $t_{\text{р}}$  – відповідно температури усередині і ззовні приміщення.

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт теплопровідності для стін і стелі тваринницьких приміщень, кДж/год. м. °К

Матеріал стін	Товщина стін, м		
	0,15	0,30	0,60
Ущільнений нештукатурений бетон	12,98	9,20	5,86
Ущільнений бетон, поштукатурений по обидва боки	11,30	8,37	4,60
Нештукатурений залізобетон	13,82	10,05	5,86
Залізобетон, оштукатурений по обидва боки	11,72	8,79	5,86
Цегла, поштукатурена з однієї сторони	10,05	6,70	4,10
Цегла, поштукатурена з двох сторін	9,63	6,70	3,98
Поштукатурений камінь	–	9,63	6,70
Дерев'яна стіна	–	14,2-10	–

Кількість тепла, яке виділяється тваринами, визначають за емпіричною формулою:

$$Q_T = K_T P_s (t_p - t_v), \text{ кДж/год}, \quad (3.26)$$

де  $Q_T$  – тепло, яке виділяється тваринами, ккал/год;

$K_T = 13,19-19,76$  – коефіцієнт тепловіддачі від конвекції і випромінювання, ккал (м·год·град);

$P_s$  – площа поверхні тіла, через яку відбувається теплообмін, м<sup>2</sup>;

$t_p$  і  $t_v$  – відповідно температура поверхні тіла тварини і навколишнього повітря, °С.

Продуктивність калорифера (кДж/год) визначають за формулою:

$$Q = k_0 F_0 \Delta t, \text{ кДж/год}, \quad (3.27)$$

де  $k_0 = 46,05-184,22$ -коефіцієнт теплопередачі від калорифера до повітря для одного ряду труб, кДж (м<sup>2</sup>·год·град). Менше значення при швидкості проходження повітря 0,02 м/с, більше при 0,3 м/с;

$F_0$  – поверхня нагрівання калорифера, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – перепад температур.

Різницю температур теплоносія і повітря знаходять за рівнянням:

$$\Delta t = t_{\text{ср.т}} - t_{\text{ср.п}} = \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{t_v - t_3}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.28)$$

де  $t_{\text{ср.т}}$  – середня температура теплоносія, °С;

$t_{\text{ср.п}}$  -середня температура повітря, °С;

$t_1$  – температура повітря при вході в калорифер;

$t_2$  – температура повітря при виході з калорифера.

### 3.8. Освітлення тваринницьких приміщень

Важливим параметром мікроклімату є також освітленість. Дія світла підсилює обмін речовин, стимулює окисні процеси, підвищує стійкість організму до хвороб, відтворювальну здатність маточного поголів'я, продуктивність тварин.

Наприклад, підвищення освітленості і продовження світлового дня до 18 годин сприяють збільшенню молочної продуктивності корів на 5–15 % і зниженню витрати кормів на 15–40% (у розрахунку на одиницю продукції). Недостатнє освітлення у тваринницьких приміщеннях викликає перенапруга нервової системи тварин, погіршує обмінні процеси, що негативно позначається на їхній продуктивності. Недолік природної освітленості доповнюють застосуванням штучного світла, особливо в осінньо-зимовий період.

В умовах промислового виробництва продукції тваринництва значення висвітлення ферм і комплексів зростає. Розроблено норми, що передбачають середню освітленість тваринницьких приміщень до 20– 80 лк , а в місцях доїння – не менше 100 лк.

Установлено, що утримання свиноматок при природній освітленості 70–100 лк (у порівнянні з 6–8 лк) підсилює білково-вітамінний обмін, сприяє збільшенню маси поросяти при народженні в середньому на 5–15 %. Збільшення природної освітленості в корівниках з 5 до 70–80 лк сприяє зниженню захворюваності телят на 20 %, підвищенню приростів ваги в середньому на 9–12 %. Для забезпечення необхідної освітленості в зонах розташування тварин використовують звичайні лампи розжарювання і лампи розжарювання з дзеркальним шаром, що відбиває, напругою на 127 і 220В, а також люмінесцентні. Однак у порівнянні з лампами розжарювання люмінесцентні мають недоліки: пульсація світлового потоку, вплив на роботу лампи умов навколишнього середовища, складна схема включення, менша надійність у роботі. Крім того, при температурі 0–10 °С запалювання лампи ускладнене. Оптимальна температура повітря для роботи люмінесцентних ламп 15–45 °С.

У тваринницьких приміщеннях необхідно використовувати джерела світла разом із арматурою, тобто світильники.

Для рівномірної освітленості приміщень потрібно, щоб на лампу припадало не більше 25 м<sup>2</sup> поверхні підлоги. Відстань між лампами не повинна перевищувати 5 м.

Сприятливо впливає на тварин сонячне світло. Основне значення мають ультрафіолетові промені, що містяться в сонячному світлі. Вони активізують провітамін ПРО, що сприяє зміцненню кісткової системи тварин, а також попереджає виникнення рахіту. Шибка не пропускає ультрафіолетових променів, тому в період стійлового утримання тварин застосовують штучне ультрафіолетове опромінення (УФ). Як джерела УФ випромінювання застосовують ртутно-кварцові і еритемні лампи (ЛЕ-15, ЛЕР-40, ДРВЕД-220-160, ДБ-15, ДВ-30-1, ДБ-60, ДРТ-375 і ДРТ-1000) потужністю від 15 до 1000 Вт. Джерела УФ випромінювання використовують в опромінювальних установках,

періодично заміряючи опромінення і дозу опромінення. Особливо ретельний контроль необхідний при запровадженні в дію нових установок.

Для УФ опромінення з інфрачервоним обігрівом застосовують спеціальні установки ІКУФ. Їхнє застосування для обігріву й опромінення поросят сприяє збільшенню збереження поголів'я до 6 % з одночасним збільшенням живої маси до 2 кг.

Аналогічними установками опромінують телят. Складаються вони з опромінювачів, до яких входять дві інфрачервоні лампи ІКЗК/220-250 і одна ультрафіолетова ЛЕ-15, блоку керування і силових щитів. При опроміненні молодняку необхідно суворо дотримувати дозування.

Тварини звикають до опромінення повільно, тому спочатку повну дозу дають частками з перервами в кілька діб. Повну норму опромінення рекомендується давати через 15–20 діб. Особливу увагу варто приділяти контролю параметрів мікроклімату в приміщеннях, де міститься молодняк, тому що він найбільше піддається захворюванням.

### 3.9. Обладнання для забезпечення мікроклімату

#### 3.9.1. Вентиляційні системи

За принципом дії системи вентиляції поділяються на природну, примусову з механічним збудником потоку і комбіновану.

У залежності від напрямку основного потоку повітря в приміщенні застосовують вертикальні системи вентиляції з подачею повітря зверху вниз чи знизу нагору. Більш раціональною вважається подача повітря зверху вниз (рисунок 3.4).

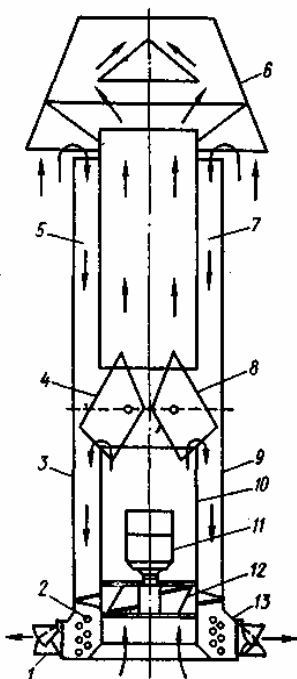


Рисунок 3.4 - Схема приточно-витяжної установки: 1 – шарнірний відбивач; 2, 13 – нагрівальні елементи ТЕН-26 і ТЕН-27; 3 – циліндричний кожух; 4, 8 – заслінки поворотні напівциліндричні; 5, 7, 9 – кільцеві проточні

канали; 6 – козирок-відбивач; 10 – циліндр внутрішній, 11 – електродвигун; 12 – крильчатка вентилятора

При установці систем вентиляції у тваринницьких та птахівницьких приміщеннях необхідно дотримуватися таких основних вимог:

- витяжні канали необхідно розташовувати в нижній частині приміщення, у зоні розташування тварин, повітрянозабірні труби витяжних каналів, або отвори в стінах, не робити проти приточних і на великій відстані (більш 2,5 м), інакше в приміщенні можуть утворитися застійні зони;

- приточні канали (шахти) необхідно розташовувати вгорі або в середній частині приміщення;

для підігріву приточного повітря в зимовий час застосовувати засоби локального обігріву – до таких засобів відносяться електрокалорифери серії СФО чи ОКБ, водяні калорифери серії КФС чи КФБ, теплогенератори типу ТГ-2,5, ТГ-0,1, автоматизовані приточно-вентиляційні серії ПВУ.

На рисунку 3.5 показано схеми систем забезпечення мікроклімату.

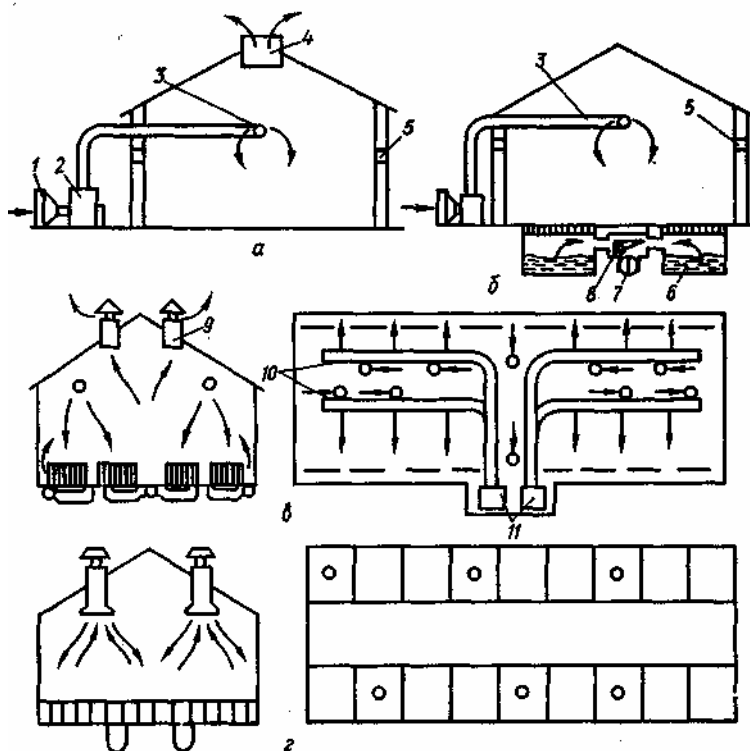


Рисунок 3.5 - Схеми систем забезпечення мікроклімату у тваринницьких приміщеннях: а – корівники з прив'язним і безприв'язним утриманням тварин; б – приміщення з підпільним збереженням гною; в – комплекси на 24 тис. свиней на рік; г – комплекси на 108 тис. свиней на рік; 1 – калорифер; 2 – приточний вентилятор; 3 – повітровод; 4 – витяжна шахта; 5 – вікно; 6 – витяжний канал; 7 – витяжний вентилятор; 8 – верхній повітровод; 9 – витяжна шахта з вентилятором; 10 – витяжні канали; 11 – вентиляційно-опалювальні агрегати.

### **3.9.2 Каналізаційні системи**

Слід також зазначити велике значення очищення стічних вод для підтримки заданого мікроклімату на фермах і комплексах. Сукупність інженерних споруд, які призначені для прийому і транспортування стічних вод до очисних споруд для їхнього очищення і знезаражування, називають каналізацією.

Для запобігання зараження території і навколишнього середовища, виникнення інфекційних захворювань у господарстві тваринницькі стоки знезаражують. Найбільш широкого поширення набуло знезаражування тривалим витримуванням стічних вод у накопичувачах (близько 6–7 міс.). Застосовують також метод іонізуючого опромінювання на великих тваринницьких комплексах.

Останнім часом приділяють велику увагу утилізації корисних речовин, які знаходяться в стічних водах. Усе більш широко впроваджуються біоенергетичні установки для одержання метану з рідкого гною.

Відведення стічних вод з території і знезаражування їх – один із основних виробничих процесів на фермах і комплексах.

Каналізація повинна забезпечувати видалення з території ферми гнойової рідини, господарсько-фекальних і виробничих стічних вод, а також відвід стоків від забійних цехів і підприємств з переробки сільськогосподарських продуктів. Гній, гнойова рідина і стічні води усередині приміщення видаляються системою каналізації і збираються в гноєсховищах і сечозбірниках. У систему каналізації входять трубопроводи, оглядові, поворотні, перехідні колодязі, сечозбірники і спорудження для біологічного і механічного очищення.

Трубопроводи для монтажу внутрішньої каналізаційної мережі (діаметр не менше 150 мм) виконують для самопливних ліній із керамічних, азбестоцементних і поліетиленових труб, а для гнойових ліній – з азбестоцементних і поліетиленових. Їх укладають на глибину на 0,3 м, більшу від максимальної глибини промерзання ґрунту. Мінімальний ухил при самопливній каналізації для труб діаметром 150 мм приймається 0,007 і для труб 200 мм – 0,005.

Максимальна швидкість руху рідини для неметалевих труб не повинна перевищувати 4 м/с.

Для біологічного очищення стічних вод на великих тваринницьких фермах і комплексах застосовують біологічні фільтри різного типу, циркуляційні окисні канали, аеротенки. З метою підвищення ефективності роботи споруд біологічного очищення стічні води попередньо піддають механічному очищенню, пропускаючи через спорудження у вигляді ґрат, відстійників, піщано-графітних фільтрів. Аеротенки застосовують для повного і неповного біологічного очищення стічних вод при витратах понад 1400 м<sup>3</sup> на добу.

Циркуляційні окисні канали служать для спільного очищення рідкої і твердої фракцій стічних вод.

### 3.9.3 Теплогенератори

Ефективний засіб для створення оптимальних режимів мікроклімату у тваринницьких приміщеннях – застосування комбінованих систем опалення і механічної вентиляції з частковою чи повною автоматизацією. Для цього в системі забезпечення мікроклімату встановлюють теплогенератори різного типу і приточні вентилятори для змішування гарячого і холодного повітря (рисунок 3.6).

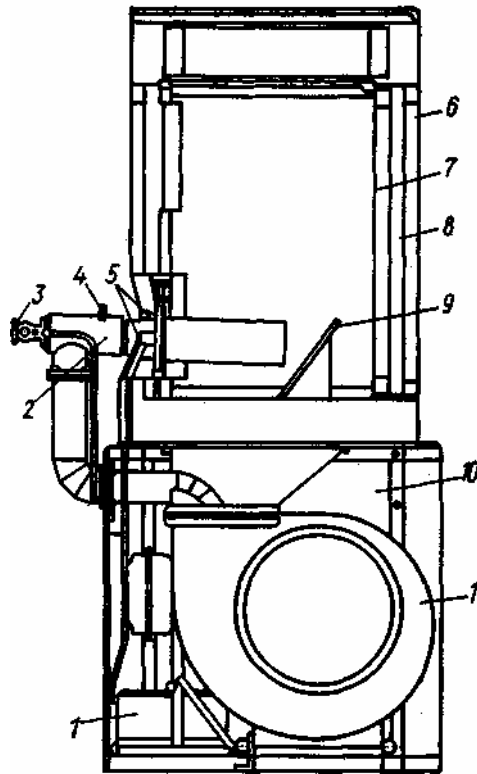


Рисунок 3.6 – Схема теплогенератора ТГ-75: 1 – трансформатор; 2 – форсунка; 3 – регулювальний паливний вентиль; 4 – ручка подачі повітря; 5 – свічі; 6 – кожух; 7 – камера згоряння; 8 – водонагрівач; 9 – екран; 10 – рама; 11 – вентилятор

У зимовий період працює приточно-витяжна вентиляція з підігрівом повітря теплогенераторами. Система керування теплогенераторами передбачає автоматичне регулювання їхньої теплопродуктивності за принципом «великий вогонь – малий вогонь».

Основні складові частини теплогенераторів: корпус, захисний кожух, теплообмінник, датчики, димохід, вентилятор, форсунки, шафа керування.

*Робочий процес теплогенератора.* Паливо паливопроводом подається насосом через електромагнітний клапан у розпилувач, набуває обертально-вихрового руху і потрапляє в камеру згоряння, у яку вентилятор подає повітря. Пальне з повітрям інтенсивно перемішуються, й отримана суміш запалюється іскрою, яка утворюється між електродами запалювання при подачі на них високої напруги від трансформатора. При згорянні суміш нагріває камеру згоряння, після підігріву якої до визначеної температури вмикається головний



вентилятор, що продуває холодне повітря уздовж стінок камери. Повітря, нагріваючись, надходить в опалювальне приміщення.

Система керування теплогенераторами автоматична, але можливе і ручне керування. В автоматичному режимі вона забезпечує підтримку заданої температури повітря в опалювальному приміщенні, а також відключення теплогенератора у випадку його перегрівання чи при інших несправностях.

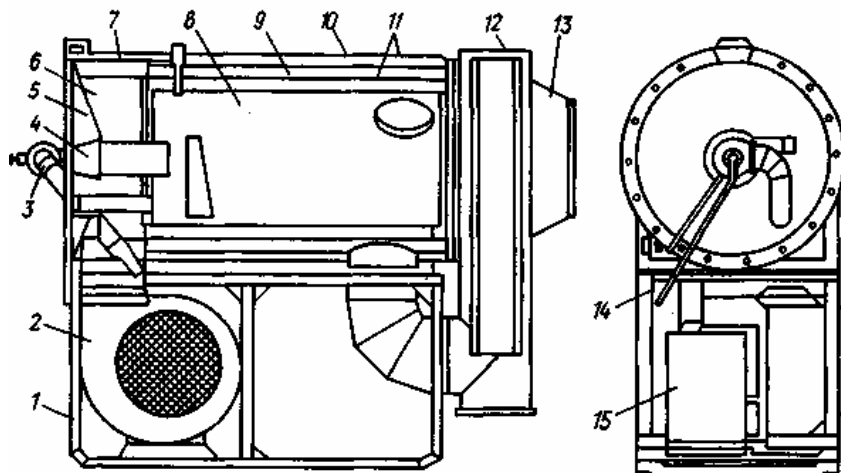


Рисунок 3.7 - Схема теплогенератора ТГ-150: 1 – рама; 2 – відцентровий вентилятор; 3 – форсунка; 4 – свіча; 5, 13 – кришки; 6 – повітряна камера; 7 – тепловий блок; 8 – камера згоряння; 9 – теплообмінник; 10 – кожух; 11 – кільцева щілина; 12 – водонагрівач; 14 – блок електромагнітних клапанів; 15 – блок електроустаткування

Основні марки теплогенераторів, які використовуються на тваринницьких фермах і комплексах: ТГ-1А; ТГ-1,5; ТГ-2.5А; ТГ-3,5; ТГ-150; ТГ-500; ТГА-50.

### **3.9.4 Устаткування для автоматичної підтримки мікроклімату**

Для підтримки в заданих межах параметрів повітря у тваринницьких приміщеннях призначено комплект електроустаткування «Клімат-4».

Устаткування призначене для роботи з автоматизованими теплогенераторами й у залежності від типу електровентилятора має три типорозміри виконання: «Клімати-44», «Клімат-45», «Клімат-47».

Основними вузлами устаткування «Клімат-4» є вентилятори, теплогенератори для нагрівання повітря і система автоматичного керування. З метою обігріву повітря можна використовувати також електричні калорифери. Устаткування «Клімат-4» укомплектовано осьовими пропелерними вентиляторами.

Для кращого перемішування повітря вентилятори поєднують у блоки (рисунок 3.8).

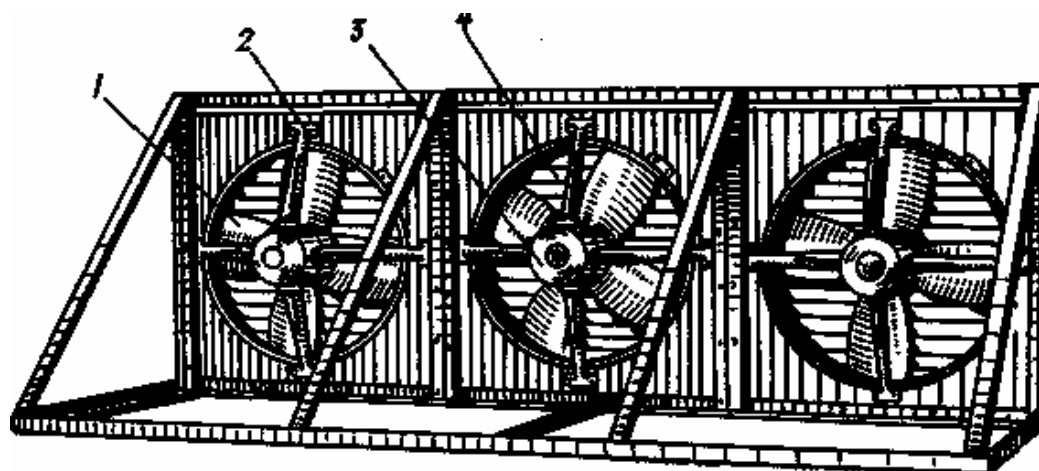


Рисунок 3.8 - Група електровентиляторів В-4: 1 – лопаті вентилятора; 2 – кронштейн; 3 – електродвигун; 4 – жалюзі

Необхідний повітрообмін для різних умов досягається зміною частоти обертання вентиляторів.

Кожен вентилятор приводиться в рух від окремого електродвигуна, до вала якого втулкою прикріплено чотири лопаті вентилятора. На валу встановлена гумова манжета, яка охороняє електродвигун від потрапляння рідини і твердих тіл.

Вентилятори встановлюють таким чином, щоб електродвигун знаходився в приміщенні. На вході кожного вентилятора встановлюють жалюзі, що відкриваються повітряним потоком. У практиці знайшли застосування вентилятори В-4, В-5,6, В-7. Їхні технічні характеристики наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 3.5 - Технічна характеристика вентиляторів.

Тип	Діаметр робочого колеса, мм	Потужність електродвигуна, квт	Максимальна частота обертання, с <sup>-1</sup>	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	Маса, кг
В-4	400	0,25	24,1	3600	19
В-5,6	560	0,37	16	5500	30
В-7	700	1,1	16	13000	51

Система автоматичного регулювання дозволяє у залежності від температури повітря в приміщенні регулювати продуктивність зміною числа обертів і числа працюючих вентиляторів. Про температуру повітря в приміщенні сигналізують встановлені в ньому датчики температури. Вони становлять собою напівпровідникові термопари. Заданий температурний режим (температуру вмикання і вимикання теплогенератора, температуру відключення вентилятора) встановлюють за допомогою терморегуляторів станції керування.

Для регулювання параметрів мікроклімату птахівничих і тваринницьких приміщень у системі автоматичного керування встановлено

автотрансформатори. Трифазний автотрансформатор складається з активної частини і металевого кожуха, що охороняє автотрансформатор від механічних пошкоджень і потрапляння сторонніх предметів. Конструктивна схема автотрансформатора АТ-10 дає можливість одержувати напругу від 70 до 300 В. Обмотка автотрансформатора виконана проводом марки ПСД. Для під'єднання до мережі з напругою 380 В від обмотки на клемник виведено затискачі А, В, С. Серійно випускаються автотрансформатори з відпайками на напруги 220, 160, 110, 90, 70 В. Відпайки з кожної фази виведено на клемник, до затисків якого під'єднується струмоприймач.

Для автоматичного і ручного керування двигунами осьових вентиляторів серії В використовують системи керування електровентиляторами. Принцип роботи системи керування полягає в такому: при спаді температури повітря в приміщенні знижується продуктивність вентиляторів за рахунок зниження частоти обертання і зменшення кількості груп працюючих електровентиляторів. При підвищенні температури повітрообмін підсилюється збільшенням кількості груп електровентиляторів і підвищенням частоти їхнього обертання. Схема передбачає автоматичне і ручне керування електровентиляторами, які розділені на три групи. Режим роботи встановлюють універсальним перемикачем. Ручне керування передбачає регулювання швидкості обертання і вибір груп електровентиляторів, автоматичне – видачу трьох команд: «нижче», «вище», «норма».

Температура, яка встановлена на першому регуляторі РТ1, повинна відповідати заданій температурі в приміщенні, а на другому РТ2 – мінімально припустима, тобто повинна бути на 6–8°C нижчою, ніж на РТ1.

Для плавного регулювання частоти обертання асинхронних електродвигунів витяжних вентиляторів у залежності від значень температури повітря у тваринницьких і птахівничих приміщеннях застосовують безконтактний пристрій керування МК – ВАУЗ.

При збільшенні температури повітря в приміщенні вище заданої автоматично зростає частота обертання вентиляторів.

При зменшенні температури частота обертання вентиляторів знижуються до встановленого базового значення. З подальшим зменшенням температури вентилятори переходять на швидкість, нижчу базової аж до мінімальної. На панелі загоряється лампочка «Холодно», і в ланцюг дистанційної сигналізації, а також включення додаткових джерел тепла подається сигнал.

Установки автоматичної підтримки мікроклімату типу ПВУ є принципово новими за конструктивним виконанням і принципом роботи. Комплекти автоматичних приточно-витяжних установок ПВУ-4, ПВУ-6, ПВУ-9 відрізняються тим, що в них сполучено приплив і витяжку повітря в одному агрегаті і виключено необхідність облаштування в приміщеннях розподільних повітроводів.

Комплект ПВУ складається із шести приточно-витяжних шахт, встановлюваних у перекритті, шести силових блоків і пульта керування. Технічну характеристику установок типу ПВУ наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Технічна характеристика установок ПВУ

Показники	ПВУ-4	ПВУ-6	ПВУ-9
Теплопродуктивність, кВт:			
максимальна	15	15	19,2
мінімальна	7,5	7,5	9,6
Подача повітря, м <sup>3</sup> /год:			
приплив	4000	6000	9000
витяжка	3400	5300	8000
Габаритні розміри, мм:			
висота	5200	6400	6850
діаметр	1000	1150	1250
Маса, кг	340	470	630

Повітря засмоктується в кільцевий зазор між кожухом і внутрішнім циліндром лопатками крильчатки вентилятора і при необхідності підігрівається електронагрівальними елементами. Крім того, приточне повітря може перемішуватися з теплим, що видається з приміщення в міру відкриття регулюючих заслінок. Положення їх змінюються приводним електродвигуном СД-54 і чотирма мікроперемикачами МП-210, які встановлені на приводному пристрої заслінок. Коли заслінки закриті, агрегат працює в режимі циркуляції внутрішнього повітря з можливим підігрівом його при надходженні невеликої кількості свіжого повітря. При повному відкритті заслінок по кільцевому каналу в приміщення подається тільки свіже повітря з підігрівом його в холодний час. Витяжка повітря з приміщення здійснюється внутрішніми лопатками крильчатки вентилятора через внутрішній циліндр агрегату.

## **Розділ 2 Машини та обладнання для приготування кормів**

### **4 Основи технології кормоприготування**

#### **4.1 Вимоги до повно раціонної годівлі тварин**

Годівля сільськогосподарських тварин - наука про регулювання живлення їх у зв'язку з віком, фізіологічним станом, розвитком і продуктивністю. Вона вивчає закономірності повноцінного і спрямованого живлення, поживність і властивості кормів, науково обгрунтовану потребу тварин у поживних і біологічно активних речовинах, умови заготівлі, зберігання, приготування і раціонального використання кормів, принципи складання норм годівлі та раціонів, техніку та організацію годівлі.

В умовах господарства годівля - це виробничий процес, що забезпечує живлення тварин за рахунок використання кормів.

Головними факторами повноцінної годівлі є: повний набір незамінних поживних речовин, своєчасне і оптимально узгоджене в кількісному відношенні надходження їх в організм тварин. Для достатньо повного задоволення потреб тварин у поживних речовинах їхні раціони, згідно з даними наукових досліджень, повинні бути збалансованими приблизно за 20-тьма чітко нормованими показниками для великої рогатої худоби і 50—80-тьма показниками для свиней та птиці. Кількість показників, що контролюється, зростає у міру підвищення рівня інтенсифікації тваринництва.

Співвідношення різних за поживністю та фізико-механічними властивостями кормових компонентів, що входять до складу раціону, характеризує тип годівлі. Вибір останнього диктується необхідністю забезпечення тварин відповідною кількістю поживних речовин та фізіологічними особливостями їхнього травлення. Тому слід підкреслити ще одну умову раціонального використання кормів: вони повинні бути узгодженими не тільки за кількісним, але і за якісним відношенням. Тобто, корми доцільно згодовувати у такому вигляді, в якому їхні поживні речовини будуть легко доступними і засвоюватимуться організмом тварин з максимальною ефективністю.

Отже, основа інтенсивного розвитку тваринництва – це повноцінна годівля, яка забезпечується виробництвом достатньої кількості кормів, зниженням втрат їх поживності при заготівлі та зберіганні, а також правильною підготовкою кормів до згодовування.

Повноцінності годівлі тварин досягають складанням збалансованих раціонів, приготуванням повнораціонних комбікормів, використанням синтетичних мінеральних та вітамінних добавок. Перетравність кормів зростає при підготовці кормів до згодовування із застосуванням їхнього подрібнення, запарювання, змішування, обробки хімічними реагентами тощо. На травлення впливають перетравність поживних речовин, обмінні процеси в організмі та коефіцієнт використання кормів, застосування біологічно активних речовин і біостимуляторів, до яких належать ферменти, гормони, специфічні сироватки, тканинні антибіотики тощо. Повноцінна годівля сільськогосподарських тварин повинна бути нормованою. Тільки за такої умови вони здатні на максимальну

продуктивність при позитивному балансі поживних речовин в організмі й мінімальних витратах кормів, при цьому можна запобігти елементарних причин захворювань. Застосовуючи повноцінну годівлю, людина позитивно впливає на розвиток молодняка та формування високопродуктивних типів тварин. Без належної годівлі неможливе поліпшення стад, ведення ефективної селекційної роботи, виведення нових порід. Інтенсифікації тваринництва досягають за рахунок повноцінної годівлі.

#### 4.2 Види кормів та їхня класифікація

Усі корми складають три основні групи: рослинного походження, тваринного походження і промислового виробництва. Вони, в свою чергу, поділяються на підгрупи: грубі, соковиті, концентровані, рибні, м'ясні, молочні, комбіновані корми, кормові добавки і харчові відходи. У таблиці 4.1 дано класифікацію кормів за видами і призначенням.

Рослинну масу кормових культур заготовлюють у вигляді розсипного чи тюкованого сіна, сінажу, силосу, а також зневодненого трав'яного борошна і січки (розсипна чи ущільнена).

Грубі корми заготовлюють у розсипному чи пакованому вигляді. Відходи рільництва (бадилля, стебла кукурудзи тощо) силосуються. З відходів лісової промисловості одержують хвойне борошно – «лісовий комбікорм».

Спосіб заготівлі кормів залежить від їхніх біологічних властивостей, призначення і доцільності трудових та енергетичних витрат для забезпечення збереження корму.

Сіно одержують із сіяних (люцерна, конюшина, буркун, віка, овес) і лугових трав сушінням до кондиційної вологості в польових умовах із підв'ялюванням і подальшим досушуванням маси активним вентиляванням.

При звичайному сушінні трав губиться до 40...45% листів, в яких міститься значна частина поживних речовин. У цьому випадку якість корму багато в чому залежить від погодних умов. Збирання прив'ялених трав з вологістю 35...45% з подальшим активним вентиляванням дозволяє зменшити втрати і підвищити поживність сіна на 20...50%.

Перед активним вентиляванням краще пров'ялити скошені трави в полі: при заготівлі розсипного подрібненого сіна – до вологості 40...45%, пресованого в тюки – до 30...35%.

Таблиця 4.1. Класифікація кормів за видами і призначенням

Назва корму			Використання		
Група	Підгрупа	найменування	для ВРХ	для свиней	для овець
Рослинного походження	Грубі	Сіно	+	–	+
		Солома	+	–	+
		Гілковий корм	+	–	–
		Сінаж	+	–	+

		Зелені корми	+	+	+
		Силос (комбісилос)	+	+	+
Те ж	Соковиті	Плоди баштанних культур	+	+	+
		Коренебульбоплоди	+	+	+
		Жом	+	+	+
		Водорості	+	-	+
		Зерно злакових і бобових культур	+	+	+
	Концентровані	Патока кормова (меліса)	+	-	+
		Дріжджі	+	+	+
		Трав'яне борошно	+	+	+
		Жом сухий	+	-	+
Тваринного походження	Рибні	Відходи переробки риби	-	+	-
		Рибне борошно	-	+	-
	М'ясні	М'ясокісткове борошно	+	+	+
	Молочні	Відсівки і сироватка	+	+	-
Промислового походження	Комбіновані корми	Комбікорму	+	+	+
	Кормові добавки	Мінеральні (солі, макро і мікроелементи)	+	+	+
		Синтетичні, які містять азот (сечовина тощо)	+	-	+
		Премікси (вітамінні, мінеральні тощо)	+	+	+
	Харчові відходи	Від мережі суспільного чи індивідуального харчування тощо.	-	+	-

Солома – побічний продукт зернового виробництва, їй як сировині для одержання енергетичного корму приділяється все більша увага. Вологість соломи повинна бути 18 – 20%.

На практиці застосовують такі технології збирання соломи: у цільному вигляді, зі здрібнюванням і з пресуванням.

Сінаж заготовлюють із багаторічних і однолітніх бобових і злакових трав, злаково-конюшинних сумішей, з попередньо пров'яленої до 45–50%-ної вологості і здрібненої маси з закладкою її в герметичні наземні чи баштові

сховища. Процес сінажування закінчується за 20–30 днів після закладки і герметизації маси. При цьому втрати поживних речовин складають 8–12%.

Найбільш поширеним є консервованій біологічним способом зелений корм. Для силосування використовують, в основному, стебла кукурудзи молочної спілості, люпин танші культури, які добре силосуються, тобто з порівняно низьким цукровим мінімумом. Початки кукурудзи підвищеної вологості в стадії воскової і повної спілості, а також вологе фуражне зерно заготовлюють силосуванням із використанням хімконсервантів і без них.

Коренебульбоплоди заготовлюють у натуральному, зневодненому (сухої стружки), силосованому чи запареному (наприклад, картопля) вигляді. Сухої речовини в коренеплодах цукрового буряка і бульбах картоплі міститься по 25%, з них 16...20% складає цукор у буряку і 20% — крохмаль у картоплі. Буряк кормовий містить 10...12% сухої речовини. Решту у коренеплодах і бульбах складає вода.

Включення коренеплодів у раціони великої рогатої худоби, особливо молочних корів, у період їхнього стійлового утримання дозволяє підвищити засвоюваність грубих кормів і стимулювати молоковіддачу при годівлі.

Зберігати коренеплоди можна в тимчасових (бурти, кагати, траншеї) і постійних сховищах (спеціалізовані коренеплодосховища, підвали) із застосуванням активного вентилявання 2–3 рази на день при відносній вологості повітря не вище 70–72%.

Трав'яне борошно і трав'яна різка – зелені кормові продукти, які одержують способом зневоднювання в поєднанні з дрібнюванням із зеленої маси люцерни, конюшини, гороху, віки, кормових бобів, а також із суміші багаторічних бобових і злакових трав.

Введення трав'яного борошна в комбікорми дозволяє знизити вартість корму на 20%. Для поліпшення умов збереження і транспортування, зменшення розпилу і засвоюванню вітамінів і живильних речовин трав'яне борошно гранулюють і брикетують.

Консервоване фуражне зерно підвищеної вологості – концентрат для тваринництва, одержуваний способом хімічного консервування.

Перспективний у цьому відношенні спосіб консервування азотоутримуючими речовинами. Наприклад, консервування вологого фуражного зерна вуглеаммонійними солями дозволяє поряд із забезпеченням збереження корму підвищити продуктивність тварин на 7–8%.

За енергетичною цінністю, фізичним станом і впливом на травлення тваринні корми поділяють на об'ємисті і концентровані.

Об'ємисті корми характеризуються порівняно невисокою поживністю, що обумовлено низьким вмістом сухої речовини у вологих кормах і високим – сирової клітковини в грубих.

Розмаїтість кормів у раціонах та їхня добра якість – неодмінна умова повноцінності годівлі, високого засвоєння поживних речовин.

За органолептичними і хімічними показниками корми поділяють на класи. Так, силос, сінаж, сіно і трав'яне борошно можуть мати перший, другий і третій класи. Класність кормів установлюють відповідно до вимог і норм, які



зазначені в Держстандарті. Корм може бути віднесений до некласного, якщо не відповідає хоча б одній із вимог стандарту.

### 4.3 Способи підготовки кормів до згодовування

Процес кормоприготування може включати ряд технологічних заходів (рисунок 4.1), різних за своєю природою та цілеспрямованістю.

Ефективність застосування того, чи іншого технологічного заходу у процесі кормоприготування може виявлятися різними шляхами і переслідувати як окремі цілі, так і цілий їхній комплекс. В основному вони зводяться до такого.

1. Розширюється і спрощується можливість використання тієї чи іншої сировини для годівлі, і цим самим збільшується набір компонентів для різних видів тварин, зміцнюється кормова база галузі. Після відповідної обробки (наприклад, подрібнення) в раціони свиней та птиці можна включати стеблові (сухі — у вигляді сінного чи трав'яного борошна, а зелені — у вигляді дрібної січки або пасти), великошматкові (макуха, коренеплоди, баштанні) та деякі інші корми.

2. Збільшується і покращується поїдання кормів. Наприклад, тварини погано поїдають непідготовлену солому (не більше 2—3 кг із розрахунку на голову великої рогатої худоби), а її втрати досягають 20—30 %. Після відповідної підготовки (подрібнення, теплової або хімічної обробки тощо) солома поїдається майже повністю і у більшій кількості.

3. Підвищується і прискорюється перетравність кормів. Так, зернові корми, що мають високий вміст поживних речовин та високі смакові якості, у більшості випадків виявляються малоефективними, якщо їх згодовувати без попередньої підготовки. Ціле сухе зерно тварини погано розжовують, тому значна кількість поживних речовин залишається неперетравленою і видаляється з організму разом із калом. Істотно підвищується і перетравність соломи після її гідролізу (розщеплення одеревілої речовини), наприклад, шляхом хімічної обробки. При цьому попереднє подрібнення соломи прискорює процес хімічної обробки, підвищує її ефективність.

4. Скорочуються витрати енергії тварин на пережовування корму, запобігаються деякі захворювання тварин. Відомо, наприклад, що на пережовування 1 кг соломи тварина витрачає 625—840 Дж. Отже, економія енергії на пережовування рівноцінна додатковій продуктивній дії корму.

Встановлено, що поживна цінність 100 кг подрібненої на січку соломи зростає на 8—12 кормових одиниць, а подрібненої на борошно — на 16—20, що майже вдвічі більше порівняно з натуральною. Виявлено також зниження витрат енергії і на перетравлення подрібнених кормів. А згодовування, наприклад, цілого зерна чи несвіжих кормів може спричинити шлункові захворювання у тварин.

5. Розширюється асортимент кормів, створюються умови для кормовиробництва та кормоприготування на промисловій основі і впровадження прогресивних технологій годівлі тварин. Відповідна обробка кормової

сировини дозволяє готувати кормові сумішки, комбіновані та повнораціонні корми. Перетравність же кормів в організмі тварин значною мірою залежить від повноцінності і збалансованості годівлі. При надмірному, але погано збалансованому раціоні до 35 –40 % поживних речовин його не засвоюється. У той же час приготування повноцінних кормових сумішей дозволяє значно зменшити витрати більш дорогих (концентровані) і збільшити споживання відносно дешевих (грубі, відходи деяких виробництв) кормів, підвищує ефективність всіх компонентів раціону.



Рисунок 4.1 - Класифікація способів обробки кормової сировини у процесі її підготовки до згодовування

Поряд із традиційним використанням соковитих, грубих та концентрованих кормів в останні роки набули поширення сінажно-концентратний тип годівлі, приготування вітамінного борошна, брикетування та гранулювання кормів.

З підвищенням рівня інтенсифікації тваринництва спостерігається тенденція до переходу від багатоконпонентних раціонів на монокорми з додаванням необхідних добавок. Технологія приготування монокорму така. Рослини скошують у стадії бутонізації –початку цвітіння трав або молочно-воскової стиглості зерна, тобто, коли вони мають найбільш високий вміст поживних речовин. Після цього висушують у сушильному агрегаті і подрібнюють на борошно або січку, а потім збагачують білковими, мінеральними та біологічно активними речовинами і гранулюють чи брикетують. Перехід від багатоконпонентних раціонів до ущільнених монокормів має такі переваги:

дозволяє суміщати кормовиробництво і підготовку кормів до згодовування в одному процесі, здійснюючи заготівлю кормів у заздалегідь сплановані оптимальні терміни і незалежно від погодних умов;

забезпечує суттєве збільшення виходу поживних речовин з одиниці площі посіву і знижує їх втрати у процесі зберігання;

спрощує рішення питань механізації та автоматизації приготування, зберігання і роздавання кормів: дозволяє на всьому шляху від поля до годівниці, тобто, починаючи зі збирання і закінчуючи годівлею, механізувати всі процеси і операції;

не потребує різнотипних сховищ та технічних засобів.

Таким чином, відносно до процесів кормоприготування можливі два підходи. Перший – коли відповідна підготовка є обов'язковою, щоб забезпечити саму можливість використання тієї чи іншої сировини як корму, тобто для перетворення потенційного корму на дійсний. Другий – коли підготовка доцільна в технологічному та економічному відношеннях, оскільки сприяє раціональнішому і ефективнішому використанню кормів, супроводжується збільшенням виходу продукції тваринництва при тих же запасах кормів.

Якщо враховувати масштаби розвитку тваринництва, а також той факт, що в сучасному виробництві тваринницької продукції доля витрат, які пов'язані з кормами, у загальному балансі собівартості цієї продукції перевищує 40–45 % (молочнотоварне виробництво), а на промислових комплексах досягає 70–80 % (наприклад, свинарство, птахівництво), то обидва названі підходи (розширення кормових ресурсів і підвищення їх ефективності) – є дуже важливими і постійно актуальними.

#### **4.4 Поняття про технологію та основні схеми кормоприготування**

Зображена на рисунку 4.1 загальна класифікація свідчить про досить широкі можливості вибору технологічних заходів підготовки кормів до згодовування. Проте далеко не всі з них часто чи навіть взагалі застосовують у кормоприготуванні через, наприклад, недостатню ефективність чи економічну недоцільність, складність технології та технічного оснащення тощо.

Вибір технології кормоприготування обумовлюється наявними кормовими компонентами та їхньою якістю, видом та віком тварин, прийнятим (заданим) типом годівлі. При цьому технологія кормоприготування в широкому розумінні цього визначення – це структура і послідовність способів та заходів обробки кормової сировини, мета яких – одержати готові до згодовування корми.

Стосовно конкретних видів кормів багаторічним досвідом визначені раціональні технологічні заходи. Деякі з них є обов'язковими для більшості видів кормової сировини. Це – очищення та подрібнення. Крім того, для реалізації найбільш доцільної технології годівлі тварин (кормовими сумішами) обов'язковими є також операції дозування та змішування.

На рисунку 4.2 зображені технологічні схеми підготовки до згодування базових видів кормів, які найбільш поширені у виробничій практиці.

Таким чином, процес кормоприготування полягає у виконанні технологічних операцій, які спрямовані на надання сировині, що обробляється, нових властивостей. А машини, що виконують такі операції, називаються

технологічним обладнанням. Окрім технологічного обладнання у процесі кормоприготування для переміщення об'єкту обробки від машини до машини чи його перевантаження використовується і допоміжне обладнання, яке забезпечує потоковість і безперервність, усуває ручну працю в процесі кормоприготування.

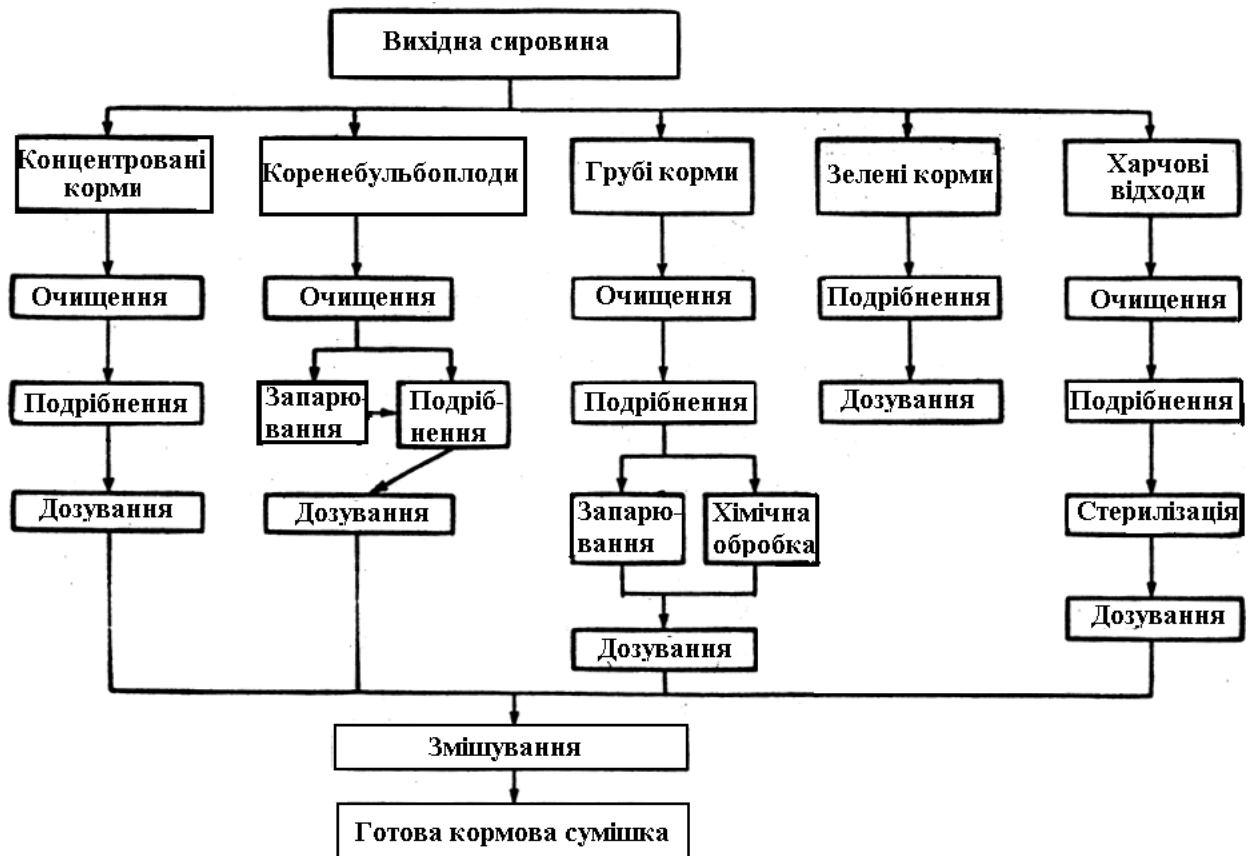


Рисунок 4.2 - Найпоширеніші технологічні схеми підготовки до згодування основних кормових компонентів.

## 5 Подрібнення кормів

### 5.1 Основи теорії подрібнення кормів

#### 5.1.1 Подрібнення як процес утворення нових поверхонь

Подрібненням називається процес поділу механічним шляхом твердого тіла на частини, тобто під дією зовнішніх сил, що перевищують сили молекулярного зчеплення.

У результаті подрібнення утвориться безліч дрібних часток із сильно розвинутою поверхнею. Отже, подрібнення можна охарактеризувати як процес виробництва (збільшення) нових поверхонь часток корму.

*Питома площа поверхні.* Кількісною мірою дисперсності сипучих матеріалів, тобто розвиток поверхні часток, слугує показник питомої площі поверхні. Питома площа поверхні матеріалу називається сумарна площа поверхні всіх часток, вміщених в одиниці маси ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ) чи об'єму ( $\text{м}^{-1}$ ).

У теорії подрібнення прийнято визначати:

об'ємну питому площу поверхні  $S_{\text{пт.об}}$  :

$$S_{\text{пт.об}} = \frac{6}{d}, \text{ м}^{-1}; \quad (5.1)$$

масову питому площу поверхні  $S_{\text{пт.м}}$  :

$$S_{\text{пт.м}} = \frac{6}{\rho \cdot d}, \text{ м}^2/\text{кг}; \quad (5.2)$$

де  $d$  – середній розмір часток, м;

$\rho$  – щільність,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

З формул (5.1) і (5.2) випливає, що для визначення питомої площі поверхні матеріалу необхідно знати лінійні розміри його часток. Середньозважений розмір прийнято називати діаметром часток, незалежно від їхньої дійсної форми.

*Ступінь подрібнення.* Абсолютні розміри, чи крупність, часток подрібненого корму обумовлені зоотехнічними вимогами і використовуються при оцінці якості продуктів подрібнення. Для енергетичної оцінки процесів подрібнення, крім цього, потрібно мати уявлення про глибину процесу диспергування, тобто про ступінь подрібнення.

У загальному випадку енергоємність технологічного процесу подрібнення залежить від збільшення питомої площі поверхні  $\Delta S$  матеріалу, тобто  $\Delta S = S_{\text{к}} - S_{\text{поч}}$ .

Зі зменшенням розмірів часток питома площа поверхні зростає, тому чисельно ступінь подрібнення  $\lambda_S$  дорівнює відношенню питомої площі поверхні часток кінцевого продукту до питомої площі поверхні шматків вихідного матеріалу, тобто  $\lambda_S = \frac{S_{\text{к}}}{S_{\text{поч}}}$ .

У техніці ступенем подрібнення  $\lambda$  матеріалу прийнято називати відношення середнього розміру  $D$  шматків вихідного матеріалу до середнього розміру  $d$  часток продукту подрібнення:

$$\lambda = \frac{D}{d} \quad (5.3)$$

Якщо вихідний матеріал – зерна сільськогосподарських культур, то, з огляду на розмаїтість і складність форми, їхні розміри найбільше зручно характеризувати величиною еквівалентного діаметра  $D_3$ . Еквівалентним діаметром зерна називається діаметр кулі, об'єм якого дорівнює дійсному об'єму зерна. Значення еквівалентних діаметрів знаходять експериментально. Визначають середній об'єм зерна зануренням порції з 100 шт. у рідину (бензин, толуол, ксилол), налиту в мірний циліндр. Якщо об'єм одного зерна  $V_3$ , а об'єм рівновеликої кулі  $V_3 = \frac{\pi D_3^3}{6}$ , то еквівалентний діаметр зерна буде дорівнює:

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}} \approx 1,24\sqrt[3]{V_3}, \text{ м.} \quad (5.4)$$

З урахуванням цього початкова питома площа поверхні зернового матеріалу перед подрібненням по (5.2) буде  $S_{\text{нач}} = \frac{6}{\rho \cdot D_3}$ .

Показник ступеня подрібнення  $\lambda$  характеризує головним чином технологічний процес подрібнення, а не крупність часток дерті. Очевидно, що при одній і тій ж крупності дерті ( $d_{\text{ср}}$ ), велике зерно дає більш високі значення ступеня подрібнення і навпаки.

У таблиці 5.1 наведено числові значення ступеня подрібнення і питомої площі поверхні дерті, отриманої з ячменя, зерна якого мали еквівалентний діаметр  $D_3 = 4,2$  мм і щільність  $\rho = 1300$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.1 - Ступінь подрібнення і питома площа поверхні ячмінної дерті

Розмелення	Крупність часток $d_{\text{ср}}$ , мм	Ступінь подрібнення $\lambda$	Питома площа поверхні $S_k$		Збільшення питомої площі поверхні	
			масова, м <sup>2</sup> /кг	об'ємна, м <sup>-1</sup>	м <sup>2</sup> /кг	м <sup>-1</sup>
Дуже дрібне	0,2	21,0	23,0	$30 \cdot 10^4$	21,9	$28,6 \cdot 10^4$
Дрібне	1,0	4,2	4,6	$6 \cdot 10^4$	3,3	$4,6 \cdot 10^4$
Середнє	1,8	2,3	2,5	$3,3 \cdot 10^4$	1,4	$1,9 \cdot 10^4$
Велике	2,6	1,6	1,8	$2,3 \cdot 10^4$	0,7	$0,9 \cdot 10^4$

При подрібненні кормів на молоткових дробарках регулятором тонкості розмелу є решето, яке встановлене в дробильній камері. Абсолютні значення ступеня  $\lambda$  подрібнення зерна злакових культур у залежності від діаметра решета в камері дробарки можна брати таким:

Діаметр решета, мм                      10                      6                      3                      2

Ступінь подрібнення  $\lambda$  1,5–1,6 2,0–2,4 5–7 8,4–9,7

При розробці методики визначення ступеня подрібнення варто враховувати специфічні властивості різних видів кормів. Так, для часток стеблових кормів визначальним розміром є вихідна довжина  $L_{ст}$  стебел та довжина  $l_{різ}$  часток різання або  $l_{т.б}$  трав'яного борошна.

У випадках подрібнення соломи на соломосилосорізці або скошених рослин на подрібнюючому апараті косилки-подрібнювача досягається ступінь подрібнення, який дорівнює:

$$\lambda = \frac{L_{ст}}{l_{різ}} \quad (5.5)$$

Аналогічно визначиться ступінь подрібнення при розмоленні сухої січки в борошно, тобто  $\lambda = \frac{l_{січ}}{l_{т.б}}$ .

В усіх цих випадках має місце однократний процес подрібнення.

При багаторазовому (багатостадійному) процесі кінцевий ступінь подрібнення  $\lambda_{до}$  буде дорівнювати добутку ступенів, що характеризують окремі ступені процесу:

$$\lambda_{к} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \quad (5.6)$$

Так, при виробництві трав'яного борошна загальний ступінь подрібнення становить  $\lambda_{т.б} = \frac{L_{ст} l_{січ}}{(l_{різ} l_{т.б})}$ .

Якщо зневажати зміну довжини часток різання зеленої маси від усушки і прийняти, що  $l_{різ} = l_{січ}$ , то:

$$\lambda_{т.м} = \frac{L_{ст}}{l_{т.м}} \quad (5.7)$$

Приклад. Середня довжина стебел скошеної люцерни склала  $L_{ст} = 500$  мм, на косарці КПП-1,5 отримано різку з довжиною часток  $l_{різ} = 25$  мм. Після сушіння і розмелення січки отримане трав'яне борошно крупністю  $d_{т.б} = 0,25$  мм. За цих умов загальний ступінь подрібнення стебел люцерни складе

$$\lambda_{т.б} = \lambda_1 \lambda_2 = \left( \frac{L_{ст}}{l_{різ}} \right) \left( \frac{l_{різ}}{d_{т.б}} \right) = \left( \frac{500}{25} \right) \left( \frac{25}{0,25} \right) = 2000.$$

З приклада видно, що навіть одне розмелення сухої січки в трав'яне борошно становить собою процес диспергування у багато разів глибший, ніж розмелення зерна. Цим пояснюється і більш висока енергоємність процесу розмелення січки.

При виробництві хутра доводиться готувати тваринам м'ясо-рибні фарші шляхом дуже тонкого подрібнення. Еластичні частки фаршу не піддаються ситовому аналізу, і визначення ступеня подрібнення поєднується з деякими труднощами.

Ученим Гарбарцем Б.В. розроблено універсальну методику оцінки ступеня подрібнення за масою вихідних шматків і часточок фаршу.

У цьому випадку ступінь подрібнення можна представити виразом:

$$\lambda = \frac{D}{d} = \sqrt[3]{\frac{D^3}{d^3}} = \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_2}} = \sqrt[3]{\frac{m_1 \rho_2}{(m_2 \rho_1)}} \cong \sqrt[3]{\frac{m_1}{m_2}}, \quad (5.8)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – об'єми шматка і частки,  $m^3$ ;

$m_1$  і  $m_2$  – маси шматка і частки, кг;

$\rho_1$  і  $\rho_2$  – щільності продукту подрібнення,  $кг/м^3$ .

Слід зазначити, що на відміну від сухих кормів при подрібненні м'яса і риби щільність продукту може помітно змінюватися під впливом температури і льодоутворення в тканинах, якщо подрібненню підлягає заморожене м'ясо чи риба без відтавання.

### 5.1.2 Витрати енергії на процес подрібнення

*Закони подрібнення.* Поряд із законами розподілу часток продуктів подрібнення за їхніми розмірами теорія подрібнення вивчає функціональний вплив між витратами енергії на процес подрібнення матеріалу і ступенем подрібнення.

Для визначення роботи подрібнення ще в минулому столітті було запропоновано дві енергетичні теорії: поверхнева та об'ємна. Поверхнева теорія, сформульована німецьким ученим П. Риттінгером (1867р), виходить з того, що робота, яка необхідна для подрібнення тіла, прямо пропорційна площі знову утвореної поверхні,

$$A_R = f(\Delta S), \frac{Дж}{кг}; \quad (5.9)$$

де  $\Delta S$  – площа знову утвореної поверхні (збільшення питомої площі поверхні).

Якщо взяти тіло кубічної форми з ребром  $D$  (рисунок 5.1) і подрібнити його до часток – кубиків з ребром  $d$ , то число отриманих часток  $N_{\text{ч}} = \frac{D^3}{d^3} = \lambda^3$ .

Площа знову утвореної поверхні при цьому складе  $\Delta S = S'_{\text{кін}} - S'_{\text{поч}} = 6d^2 N_{\text{ч}} - 6D^2 AS$  чи  $\Delta S = 6D^2(\lambda - 1)$ .

Якщо робота  $A_0$  витрачається на утворення одиниці площі нової поверхні, то повна робота  $A_R$ , за Риттінгером, яка витрачена на процес подрібнення, складе

$$A_R = A_0 \Delta S g = 6A_0 D^2 (\lambda - 1), \frac{Дж}{кг}; \quad (5.10)$$



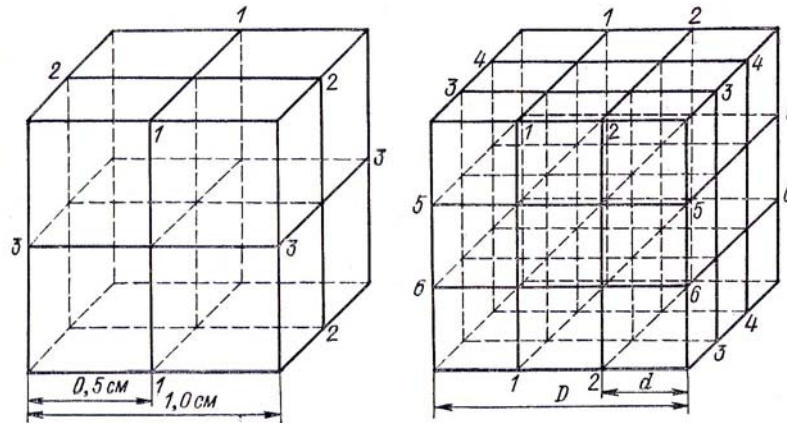


Рисунок 5.1 – До визначення роботи, яка витрачається на подрібнення твердих тіл

Якщо у формулі (5.10) питому роботу  $A_0$  і ступінь подрібнення прийняти за постійні величини, то повна робота на подрібнення

$$A_R = K_R D^2, \frac{Дж}{кг}; \quad (5.11)$$

де  $K_R$  – коефіцієнт пропорційності.

Однак така залежність виражає лише окремий випадок. У дійсності ступінь подрібнення змінюється в широких межах і залежить від властивостей та розміру матеріалу, способу подрібнення і конструктивних особливостей подрібнювача. Стосовно технології приготування кормів більш постійною величиною для зерен визначеної культури є еквівалентний діаметр  $D$ , зернини. З урахуванням цього зауваження формулу (5.11) представимо у такому вигляді:

$$A_R = K_{R_0} (\lambda - 1), \frac{Дж}{кг}; \quad (5.12)$$

де  $K_{R_0}$  – коефіцієнт пропорційності.

Поверхнева теорія виявилася більш пристосованою для оцінки процесів тонкого подрібнення, коли виходить продукт із високорозвиненою питомою площею поверхні.

При подрібненні зернових кормів майже прямолінійна залежність (рисунок 5.2) між витраченою роботою і ступенем подрібнення  $A_{изм} = f(\lambda)$  спостерігається при тонкому розмеленні ( $d \leq 0,4 - 0,6$  мм и  $\lambda \geq 7$ ).

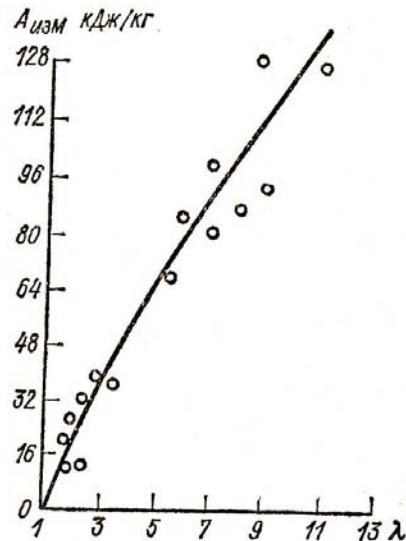


Рисунок 5.2 - Питомі витрати роботи на подрібнення зерна в залежності від ступеня подрібнення.

Тепер розглянемо процес подрібнення не одного, а сукупності  $M$  шматків різного розміру і форми, приймаючи середні розміри шматків рівними  $D$ , а отриманих часток –  $d$ . Припускаємо, що подрібнення часток розмірами від  $D$  до  $d$  відбувається за  $n$  прийомів (наприклад, ударів) і що за кожен прийом досягається проміжний ступінь подрібнення  $\lambda_i$ , однаковий для всіх прийомів або стадій. За такої передумови загальний ступінь подрібнення багатостадійного процесу складе  $\lambda = \lambda_i^n$ .

Визначимо загальну роботу  $A_R$ , витрачену на процес подрібнення, якщо врахуємо, що за перший прийом вона складе:

$$A_1 = K_R D^2 N_{\text{ч}} = \frac{K_R D^2 M}{K_R D^2 M} = \frac{K'_R M}{D}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

де  $N_{\text{ч}}$  – число часток  $\left[ N_{\text{ч}} = \left( \frac{M}{\rho \cdot D^3} \right) \right];$

$\rho$  – щільність,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

У другому прийомі будуть подрібнюватися шматки вже розміром

$$D_1 = \frac{D}{\lambda_i} \text{ і, відповідно, робота на подрібнення}$$

$$A_2 = \frac{K_R D_1^2 M}{(\rho \cdot D_1^3)} = \frac{K'_R M}{D_1} = \frac{K'_R \lambda_i M}{D}.$$

У третьому прийомі шматки будуть мати розмір  $D_2 = \frac{D_1}{\lambda_i} = \frac{D}{\lambda_i^2}$ , отже,

$$A_3 = \frac{K_R D_2^2 M}{(\rho \cdot D_2^3)} = \frac{K'_R M}{D_2} = \frac{K'_R \lambda_i^2 M}{D}.$$

Аналогічно при  $n$ -ому прийомі одержали

$$A_n = \frac{K_R D_{n-1}^2 M}{(\rho \cdot D_{n-1}^3)} = \frac{K'_R M}{D_{n-1}} = \frac{K'_R \lambda_i^{n-1} M}{D}$$

Загальна робота подрібнення дорівнює сумі витрат на всіх стадіях

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \frac{K'_R M (1 + \lambda_i + \lambda_i^2 + \dots + \lambda_i^{n-1})}{D}$$

Сума членів геометричної прогресії (у дужках) зі знаменником  $\lambda_i$  дорівнює:

$$\frac{\lambda_i^{n-1}(\lambda_i - 1)}{(\lambda_i - 1)} = \frac{(\lambda_i^n - 1)}{(\lambda_i - 1)} = \frac{(\lambda - 1)}{(\lambda_i - 1)} = \frac{\left[\left(\frac{D}{d}\right) - 1\right]}{(\lambda_i - 1)}$$

Отже, загальна робота на подрібнення складе:

$$A_R = \frac{K'_R M \left[\left(\frac{D}{d}\right) - 1\right]}{[(\lambda_i - 1)D]} = K''_R M \left[\left(\frac{1}{d}\right) - \left(\frac{1}{D}\right)\right] \cdot M$$

Питома робота подрібнення  $A_{R_{уд}}$  (Дж/кг) буде:

$$A_{R_{уд}} = K''_R \left[\left(\frac{1}{d}\right) - \left(\frac{1}{D}\right)\right], \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (5.13)$$

Об'ємну теорію розроблено російським ученим-механіком В. Л. Кирпичовим (1874р), а пізніше, стосовно процесів подрібнення корисних копалин, – німецьким проф. Ф. Кіком (1885р).

За Кирпичовим – Кіком витрати роботи  $A_K$  на подрібнення тіла прямо пропорційні об'єму  $\Delta V$  деформованої частини тіла, тобто  $A_K = f(\Delta V)$ . Але деформована частина об'єму  $\Delta V$  пропорційна первинному об'єму  $V$  усього шматка, тобто  $\Delta V = K_1 V$ . Отже,

$$A_K = K \cdot K_1 V = K_2 V = K_K D^3$$

чи

$$A_K = K_2 V = K_2 \rho \cdot m = K'_K m, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad (5.14)$$

де  $K_K$  і  $K'_K$  – коефіцієнти пропорційності у наведених формулах за теорією Кирпичова – Кіка;

$m$  – маса шматка, що подрібнюється, кг.

Об'ємна теорія Кирпичова – Кіка дає більш точні результати в розрахунках процесів грубого подрібнення, при якому основна частина енергії витрачається на пружні деформації тіла, а питома площа поверхні при цьому незначною мірою змінюється.

Розглянемо, як і раніше, випадок подрібнення матеріалу, що складається зі шматків крупністю  $D$ , з одержанням часток розміром  $d$ .

Якщо маса  $M$  матеріалу складається зі шматків однакової маси  $t$ , то число шматків до подрібнення буде  $N = M/t$ . Роботу подрібнення одного шматка можна визначити за формулою (5.14), а всієї маси – за такою формулою:

$$A = A_k N = K_k' M, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.15)$$

Якщо матеріал складається зі шматків різних розмірів і подрібнюється за  $n$  прийомів (наприклад, ударів), причому за кожен прийом досягається ступінь подрібнення  $\lambda_1$ , то за всі стадії ступінь подрібнення складе  $\lambda = \frac{D}{d} = \lambda_1^n$ .

Звідси число прийомів:

$$n = \frac{\lg \lambda}{\lg \lambda_1}. \quad (5.16)$$

При цьому сумарна робота за  $n$  прийомів складе  $A = n K_k' M$ .

Підставивши значення  $n$  за формулою (5.16), одержимо:

$$A = K_k \lg \lambda M = K_k \left[ \lg \left( \frac{1}{d} \right) - \lg \left( \frac{1}{D} \right) \right] \cdot M.$$

Отже, питома робота подрібнення  $A_k$  (Дж/кг) буде

$$A_k = K_k \left[ \lg \left( \frac{1}{d} \right) - \lg \left( \frac{1}{D} \right) \right] = K_k \lg \lambda, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.17)$$

Прихильники поверхневої та об'ємної теорій більше півстоліття вели гостру дискусію між собою, намагаючись довести перевагу однієї з них, але зробити цього не вдалося, тому що як перша, так і друга теорія страждають однобічністю і не враховують впливу конкретних умов на процес подрібнення на його енергоємність (дисперсність матеріалу, конструкція і режими подрібнювачів тощо).

У зв'язку з цим з'явилася третя «погоджувальна» теорія Ф. Бонда (1952р), що поєднує рівняння (5.12) і (5.17). Було зроблено припущення, що робота, яка витрачається на подрібнення, пропорційна середньому геометричному об'єму і площі поверхні шматка, що подрібнюється:

$$A_B = K \sqrt{VS} = K \sqrt{K_k D^3} \sqrt{K_k D^2} = K_B D^{2,5}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Після перетворень одержимо:

$$A_B = K_B \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{d}} \right) - \left( \frac{1}{\sqrt{D}} \right) \right], \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.18)$$

Пізніше радянський вчений А. К. Рундквіст (1956р) та американський Р. Чарльз (1958р) запропонували емпіричне рівняння:

$$dA = -C d \left( \frac{d\delta}{\delta^z} \right), \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad (5.19)$$

де  $A$  – робота;

$\delta$  – характерний розмір [шматка ( $D$ ) чи частки ( $d$ )];

$C$  і  $z$  – коефіцієнти.

Інтегруючи вираз (5.19) і додаючи дискретні значення  $z = 1; 2; 3/2$  з урахуванням кінцевих значень розмірів, одержимо наближене значення інтеграла у вигляді

$$A = kD^q, \frac{Дж}{кг} \quad (5.20)$$

Тоді, додаючи показнику ступеня  $q$  значення 3; 2 і 2,5, одержимо

$A_k = K_k D^3$  - закон Кирпичова – Кіка;

$A_R = K_R D^2$  - закон Риттингера;

$A_B = K_B D^{2,5}$  - закон Бонда.

З наведеного аналізу видно, що залежності (5.12) і (5.14) багатозначні і не інваріантні стосовно умов експерименту, тобто не є строго науковими законами, а виражають лише окремі випадки протікання процесу. Відомо, що законами прийнято називати строго детерміновані однозначні залежності, що характеризують явища чи процес та інваріантні стосовно системи відліку.

*Основний закон подрібнення.* Академік П. А. Ребіндер уперше (1928р) запропонував оцінювати роботу подрібнення за такою формулою, що враховує недоліки поверхневої та об'ємної теорії:

$$A = f(\Delta V) + f_1(\Delta S), \frac{Дж}{кг}; \quad (5.21)$$

де  $\Delta V$  – об'єм деформованої частини тіла;

$\Delta S$  – збільшення питомої площі поверхні матеріалу.

Рівняння Ребіндера в розгорнутому вигляді можна записати так:

$$A = A_V + A_S = k\Delta V + \alpha\Delta S, \frac{Дж}{кг}; \quad (5.22)$$

де  $A_V$  – робота, яка витрачена на деформацію частини тіла;

$A_S$  – робота, яка витрачена на утворення нових поверхонь;

$k$  – коефіцієнт пропорційності;

$\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, що враховує енергію поверхневого натягу твердого тіла.

З рівняння (5.22), названого нами основним законом подрібнення, випливає, що повна робота подрібнення дорівнює сумі робіт, витрачених на деформації в деформуємій частині об'єму шматка, що руйнується, і на утворення нових поверхонь.

За В. І. Куяновим, єдність процесу «деформація – руйнування» дозволяє розглядати руйнування як наслідок перенапруження тіла, а площу, яка знову утворилася на поверхні, вважати пропорційною роботі перенапруження  $A_S$  (на відміну від роботи пружних деформацій  $A_V$ ). Тоді енергетичний баланс процесу подрібнення можна представити у вигляді закону Ребіндера:

$$A = A_V + A_S, \frac{Дж}{кг} \quad (5.23)$$

Розглядаючи процес подрібнення за Ребіндером (формула (5.23)) як єдине ціле, можна відзначити, що робота створення нової поверхні  $A_S$  є корисною, а

робота пружних деформацій  $A_v$  – некорисною. При цьому ККД процесу подрібнення дуже низький і складає

$$\eta_{\text{пдр}} = \frac{A_S}{(A_S + A_{\text{пдр}})} \quad (5.24)$$

Для підвищення ефективності і ККД процесу подрібнення необхідно:  
1) зменшувати роботу  $A_{\text{пдр}}$  пружних деформацій шляхом зниження міцності матеріалу за рахунок застосування поверхневоактивних речовин (ефект Ребіндера); 2) збільшувати, по можливості, роботу  $A_S$  на утворення нових поверхонь, створюючи умови найбільшого перенапруження матеріалу, наприклад, за рахунок застосування високих швидкостей робочих органів ( $V_{y\partial} \geq 100$  м/с).

На закінчення необхідно відзначити, що отримані вирази для визначення роботи подрібнення не можуть бути використані при кількісних розрахунках, коли потрібно знайти абсолютне значення  $A_{\text{пдр}}$ , тому що невідомі значення коефіцієнтів пропорційності. Ці формули застосовують лише для якісного дослідження робочих процесів і порівняльних розрахунків з метою виявлення відносної величини роботи, витраченої на подрібнення.

### 5.1.3 Базові робочі формули процесу подрібнення

Спираючись на основний закон подрібнення (формула (5.22)), С.В. Мельников (1952р) запропонував емпіричну робочу формулу для визначення витрат роботи на подрібнення.

Зробимо припущення, за яких з відомим ступенем наближення можна скористатися робочою формулою в дослідженнях процесів подрібнення кормів.

1. Розширенням наявних мікротріщин і утворенням нових у межах пружних деформацій аж до початку плинності матеріалу можна знехтувати, припустивши, що вся робота при цьому витрачається тільки на деформацію корму і пропорційна деформованому об'єму. Позначимо цю частину роботи через  $A_v$  (Дж/кг) і відповідно до закону Кирпичова – Кіка оцінимо її за виразом:

$$A_v = C_v \lg \lambda^3, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad (5.25)$$

де  $C_v$  – коефіцієнт пропорційності, що має розмірність питомої роботи, Дж/кг.

Показник ступеня  $\lambda$  умовно залишено під логарифмом, що наочно показує залежність витрати енергії від відношення об'ємів ( $D^3$  і  $d^3$ ).

2. Енергія, що витрачається на подрібнення корму в інтервалі від межі текучості до руйнування, витрачається на утворення нових поверхонь (у тому числі й у ході розвитку пластичних деформацій).

Припустимо, що ця частина роботи прямо пропорційна збільшенню питомої площі поверхні і позначимо її через  $A_S$ .

Тоді відповідно до закону Риттінгера її можна оцінити виразом

$$A_S = \frac{k_S(\lambda - 1)}{D}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.26)$$

Для переведення в Дж/кг у знаменник формули (5.26) варто ввести щільність  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) матеріалу. Крім того, якщо врахувати, що розміри вихідних шматків зернових кормів, оцінювані еквівалентним діаметром зерновки за формулою (5.4) змінюються у вузьких межах, можна записати  $\frac{k_S}{D \cdot \rho} = C_S$ .

При цьому  $A_S = C_S(\lambda - 1)$ .

Прийняті передумови дозволяють представити основний закон подрібнення в такому вигляді:

$$\begin{aligned} A_\tau &= A_V + A_S \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \\ A_{\text{гп}} &= C_{\text{п}} A_\tau \end{aligned} \quad (5.27)$$

де  $A_\tau$  – теоретичні витрати роботи на процес подрібнення, Дж/кг;

$A_{\text{п}} – повні (розрахункові) витрати роботи на подрібнення з урахуванням впливу способу подрібнення і конструкції подрібнювача, який оцінюється дослідним коефіцієнтом  $C_{\text{п}}$  процесу, Дж/кг.$

З урахуванням виразів (5.25) і (5.26) формула (5.27) для визначення витрат роботи (чи енергії) на подрібнення може бути представлена в остаточному вигляді:

$$A_{\text{изм}} = C_{\text{п}} \left[ C_V \lg \lambda^3 + C_S(\lambda - 1) \right], \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.28)$$

У формулі (5.28) постійний коефіцієнт  $C_V$  (Дж/кг) визначає роботу пружних деформацій при прийнятому методі механічних досліджень зерна, віднесена до одиниці його маси.

Постійний коефіцієнт  $C_S$  також має цілком визначене фізичне значення – становить собою роботу, витрачену на утворення нових поверхонь при подрібненні 1 кг зерна. Величина обох коефіцієнтів залежить від структурно-механічних властивостей зерна, його розміру і щільності.

Коефіцієнт процесу  $C_{\text{п}}$  характеризує вплив інших неврахованих факторів, що з'являються під час робочого процесу подрібнювача: властивості зернового матеріалу (вологість, в'язкість тощо), спосіб подрібнення (удар, плющення, різання тощо), конструктивні особливості подрібнювача. У статистичному розумінні коефіцієнт  $C_{\text{п}}$  виражає кореляційний зв'язок між значенням  $A_\tau$  за формулою (5.27) і дійсними витратами роботи  $A_{\text{изм}}$ , що спостерігаються як при експерименті, так і в умовах виробничої експлуатації подрібнювачів.

Дослідні значення коефіцієнтів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристика фуражного зерна (за експериментальними даними С. В. Мельникова)

Культура	Щільність зерна $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Еквівалентний діаметр зерна $D_3$ , мм	Коефіцієнти		
			$C_{пр}$	$C_V$ , кДж/кг	$C_S$ , кДж/кг
Ячмінь	$1,30 \cdot 10^3$	4,2	$1,20 \pm 0,30$	8,5	7,50
Овес (без плівок)	$1,35 \cdot 10^3$	3,7	$5,00 \pm 1,50$	2,34	1,96
Жито	$1,28 \cdot 10^3$	3,3	$1,45 \pm 0,35$	8,4	6,40
Пшениця	$1,36 \cdot 10^3$	3,8	-	4,6	8,15
Горox	$1,36 \cdot 10^3$	6,3	-	10,7	3,66

Варто мати на увазі, що експериментальне визначення коефіцієнтів  $C_V$  і  $C_S$  пов'язано з необхідністю проведення великого числа дуже трудомістких дослідів механічних властивостей зерен. Це обмежує можливості більш широкого застосування в розрахункових цілях формули (5.28).

Формулу (5.28) можна значно спростити, подавши її у вигляді

$$A_{пдр} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1) \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5.29)$$

Таке перетворення дає можливість визначати значення коефіцієнтів  $C_1$  і  $C_2$  за результатами виробничих досліджень подрібнювачів будь-яких типів і використовувати величину  $A_{пдр}$  як критерій енергоємності при порівняльній оцінці різних машин та виборі ефективних режимів їхньої роботи.

Формула (5.29) є більш універсальною, тому що вона дозволяє оцінити будь-який процес подрібнення (дроблення, стирання, різання) з позицій сучасної теорії подрібнення. Такий підхід має особливе значення для дослідження робочого процесу універсальних дробарок, обладнаних апаратом, що ріже, та молотковим барабаном, а також інших подрібнювачів, що мають дворазовий операційний вплив різних робочих органів на матеріал.

У формулі (5.29) коефіцієнти  $C_1$  і  $C_2$  визначаються за способом найменших квадратів із дослідних даних. Так, для ячменя можна прийняти  $C_1 = (10 - 13) \cdot 10^3$  Дж/кг і  $C_2 = (6 - 9) \cdot 10^3$  Дж/кг, а для грубих стеблових кормів  $C_1 = (7,5 - 8,5) \cdot 10^3$  Дж/кг і  $C_2 = (0,6 - 0,9) \cdot 10^3$  Дж/кг.

У вищенаведеному матеріалі розглядались процеси подрібнення зернових кормів, здійснювані головним чином за рахунок ударного впливу робочих органів. Однак основний закон подрібнення, запропонований П. А. Ребіндером (формула (5.22)), рівною мірою може бути застосований і для опису процесу подрібнення стеблових кормів різанням на соломосилосорізках.

З урахуванням формули (5.27) можна записати:

$$A_{\tau} = A_V + A_S = A_{ст} + A_{різ} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad (5.30)$$

де  $A_{ст}$  – робота стискання, Дж/кг;

$A_{різ}$  – робота різання, Дж/кг.



Значення робіт  $A_{ст}$  і  $A_{різ}$  можуть бути визначені за характеристиками міцності стеблових кормів ( $\sigma_{руйн}$ ). Так, за результатами статичних іспитів стеблових кормів різанням на лабораторному приладі отримано дані, наведені в таблиці 5.3.

З таблиці 5.3 видно, що коефіцієнт  $C_s$  у 10 разів більший, ніж коефіцієнт  $C_v$ ; за дослідними даними, він дорівнює приблизно двадцятиразовій величині  $q_0$  опору різанню.

Таблиця 5.3 - Значення коефіцієнтів  $C_s$  і  $C_v$  для стеблових кормів, кДж/кг

Корм	$C_v$	$C_s$
Сіно:		
люцернове	0,23	2,3
конюшинове	0,11	1,1
із різнотрав'я	0,24	2,4
Солома:		
ячмінна	0,12	1,3
житня	0,12	1,2
Свіжоскошена трава:		
люцерна	0,20	2,0
конюшина	0,10	1,1
різнотрав'я	0,19	1,9

Коефіцієнт  $C_{пр}$  у формулі (5.28) для стеблових кормів у середньому дорівнює 0,7-0,9. Значення  $C_{пр}$  обумовлені методикою визначення коефіцієнтів  $C_v$  і  $C_s$ , за якою усі стебла перерізаються тільки поперек волокон. При цьому внаслідок анізотропності і впливу структури стебел значення  $C_v$  і  $C_s$  максимальні.

При різанні стеблових кормів на соломосилосорізці значна частина стебел потрапляє під лезо ножа і перерізається не перпендикулярно подовжній осі стебел, а під гострими кутами. У цих випадках на їхнє перерізання потрібно витратити зусилля і роботу значно менші, ніж при різанні поперек.

Як уже відзначалося раніше, формула (5.29) дає можливість визначити розрахункові значення коефіцієнтів  $C_1$  і  $C_2$  за результатами виробничих досліджень. Стосовно процесу різання стеблових кормів, коли ступінь

подрібнення  $\left( \lambda = \frac{L_{ст}}{l_{різ}} \right)$  є дуже високим, значенням першого доданка в правій частині рівняння (5.29) можна зневажити, тому що він у багато разів менший за чисельне значення другого доданка.

За такої умови витрати роботи  $A_{рез}$  можна оцінити за спрощеною формулою:

$$A_{пдр} = A_{різ} = C(\lambda - 1) \cdot \frac{Дж}{кг}. \quad (5.31)$$

Ефективність і енергоємність. Ефективність  $\mathcal{E}_\phi$  подрібнювачів вимірюється в тоннах готового продукту на 1 кВт·год витраченої енергії:

$$\mathcal{E}_\phi = \frac{Q}{N}, \frac{\text{т}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}; \quad (5.32)$$

де  $Q$  – продуктивність, т/год;

$N$  – встановлена потужність, кВт.

Величина, обернена ефективності, називається питомою витратою енергії.

При вивченні робочого процесу подрібнювачів і визначенні оптимальних режимів їхньої роботи визначають енергоємність процесу:

$$\mathcal{E} = \frac{N_n}{Q \cdot \lambda}, \frac{\text{т}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}; \quad (5.33)$$

де  $\mathcal{E}$  – витрати енергії на 1 т корму з урахуванням досягнутого ступеня подрібнення, кВт · год;

$N_n$  – корисна потужність, тобто за винятком втрат холостого ходу подрібнювача, кВт.

*Способи подрібнення.* На рисунку 5.3 схематично показано найбільш поширені способи подрібнення кормів: дроблення ударом, розколювання, стирання (розмелення), плющення і різання – лезом, різцем або пуансоном.

При оцінці способу подрібнення і конструюванні робочих органів подрібнювачів насамперед слід враховувати фізико-механічні властивості та геометричні параметри кормів і вибирати такі способи впливу на матеріал, що переробляється, при яких руйнування його може бути досягнуте при найменших напругах і витраті енергії.

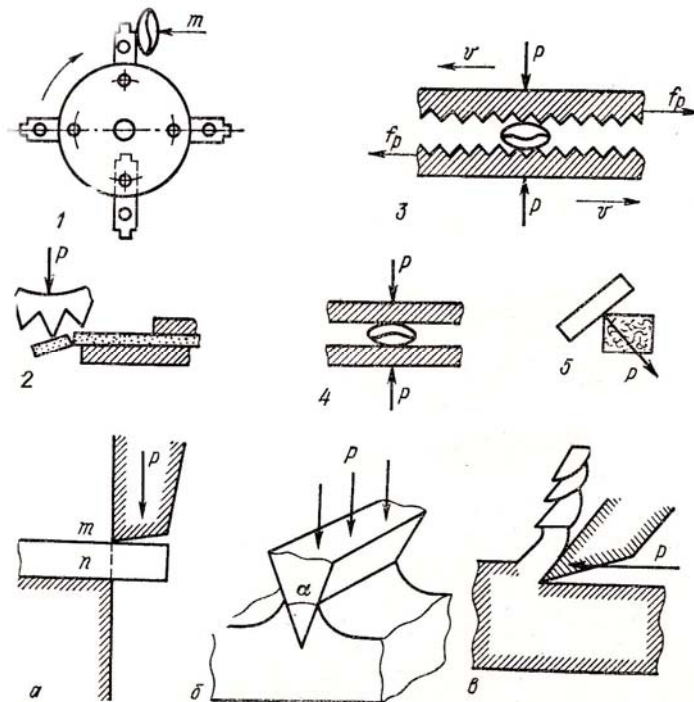


Рисунок 5.3 - Способи подрібнення кормів: 1 – подрібнення ударом; 2 – розколювання; 3 – стирання; 4 – плющення; 5 – різання (а – пуансоном; б – лезом; в – різцем)

У цьому відношенні розколювання, стирання або різання представляються більш вигідними, тому що руйнівні напруження сколювання  $\tau_{руйн}$  менше за нормальні напруги  $\sigma_{руйн}$ .

Різноманіття видів кормів та їхніх властивостей, а також вимог до технології приготування, обумовлених фізіологією годівлі, призвело до створення великого числа способів подрібнення, кожний із яких має свій механіко-математичний опис або відповідну теорію.

## **5.2 Машини для подрібнення концентрованих кормів**

### **5.2.1 Зоотехнічні вимоги до технології приготування концентрованих кормів**

Зоотехнічними вимогами обумовлені такі операції щодо приготування концентрованих кормів.

1. Очищення від землі, каміння, насіння бур'янистих рослин і соломистих домішок на зерноочисних машинах (сепаратори, бурати, грохоти тощо) і від металевих домішок – на магнітних сепараторах.

Зміст мінеральних домішок (піску) у комбікормах припускається не більше: 0,3% - для курчат, поросят-від'ємишів і телят молочного періоду; 0,5% - для молодняка великої рогатої худоби і свиней; 0,7% - для корів і овець. У трав'яному борошні припускається вміст піску не більше 1 % (ГОСТ 18691-88).

Вміст металомагнітних домішок розміром до 2 мм із негострими краями допускається не більше 30 мг на 1 кг корму. Комбікорм, що містить металомагнітні домішки в кількості, що перевищує припустиму норму, не придатний до згодовування, тому що може викликати важкі захворювання тварин. Особливо небезпечні великі металеві частки з гострими ріжучими крайками.

2. Подрібнення до заданої крупності різними способами на дробарках, або млинах-плющилках. Зоотехнічні вимоги до підготовленого зернового корму передбачають розміри часток: для великої рогатої худоби – не вище 3 мм, для свиней – до 1 мм, для птиці – до 2...3 мм при сухій годівлі і до 1 мм, якщо годівлю роблять вологими мішанками.

Стандарт на комбікорми, борошно та отруби (ГОСТ 13496.8-72, ГОСТ 27560-87) визначає 3 ступеня розмелення, що характеризуються середніми розмірами часток (модуль): від 0,2 до 1 мм – дрібне розмелення, від 1 до 1,8 мм – середнє і від 1,8 до 2,6 мм – велике розмелення.

3. Дозування і змішування компонентів при готуванні кормових сумішей за рецептами на спеціальних дозаторах і змішувачах універсальних комбікормових агрегатів.

Однорідність складу забезпечує однакову живильну цінність всієї отриманої кормової суміші. Для зернових кормів показник однорідності суміші повинен бути не меншим 90...95% (у залежності від призначення за видом і віком тварин).

4. Гранулювання кормових зернових або сумішей трав'яного борошна на прес-грануляторах.

### 5.2.2. Молоткові подрібнювачі кормів

Технологічні схеми, класифікація дробарок. Для подрібнення кормів основними машинами є подрібнювачі ударної дії – **молоткові дробарки**. Простота будови, висока надійність у роботі, компактність, динамічність робочих режимів, високі швидкості робочих органів обумовили можливість їхнього широкого застосування. Основними ж недоліками є висока енергомісткість, можливість додаткового подрібнення часток, інтенсивне спрацювання робочих органів.

Типові схеми молоткових дробарок сільськогосподарського призначення зображено на рисунку 5.4. Дробарка складається з корпусу із завантажувальною горловиною, молоткового барабана з шарнірно підчепленими молотками, решіт і дек.

Залежно від організації робочого процесу у робочій камері розрізняють дробарки відкритого (рисунок 5.4 а), закритого (рисунок 5.4 б) типів. У дробарках відкритого типу матеріал з дробильної камери швидко видаляється, не замикаючи при своєму переміщенні кола. У таких дробарках подрібнюється головним чином шматковий сухий матеріал (гранули, крейда, черепашник, сіль). Основним механічним фактором процесу є вільний удар молотків по шматках значної маси.

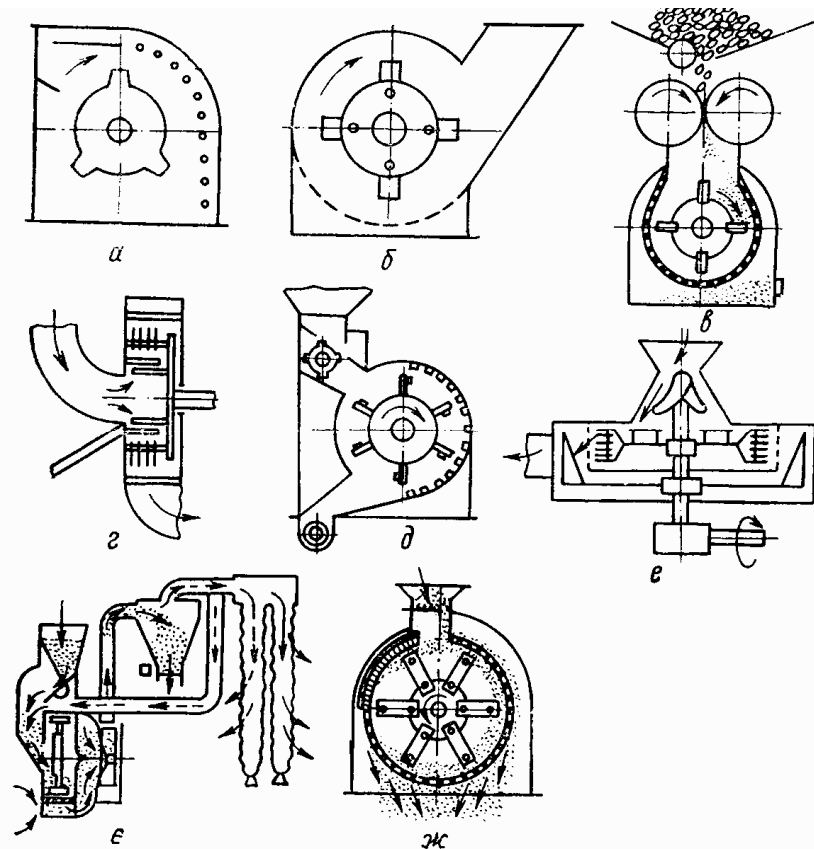


Рисунок 5.4 - Конструктивно-технологічні схеми молоткових дробарок: а – відкритого, б – закритого типу, в, г – двохстадійні, д – з жорстким кріпленням робочих органів, е – горизонтальна, е – із замкнутим повітряним потоком, ж – із шарнірним кріпленням робочих органів

У дробарках закритого типу решето і деки охоплюють увесь барабан, і матеріал, який надходить у дробильну камеру, під час свого переміщення виконує багаторазові колові рухи, розмішуючись у камері у вигляді пухкого продукто-повітряного шару. Матеріал подрібнюється під час багаторазової ударної дії молотків і стирання при польоті їх у середовищі шару, що рухається.

У кормоприготуванні поширені дробарки закритого типу. Їхня класифікація, яка відображає організацію робочого процесу і типові конструктивні особливості, наведена на рис. 5.5.

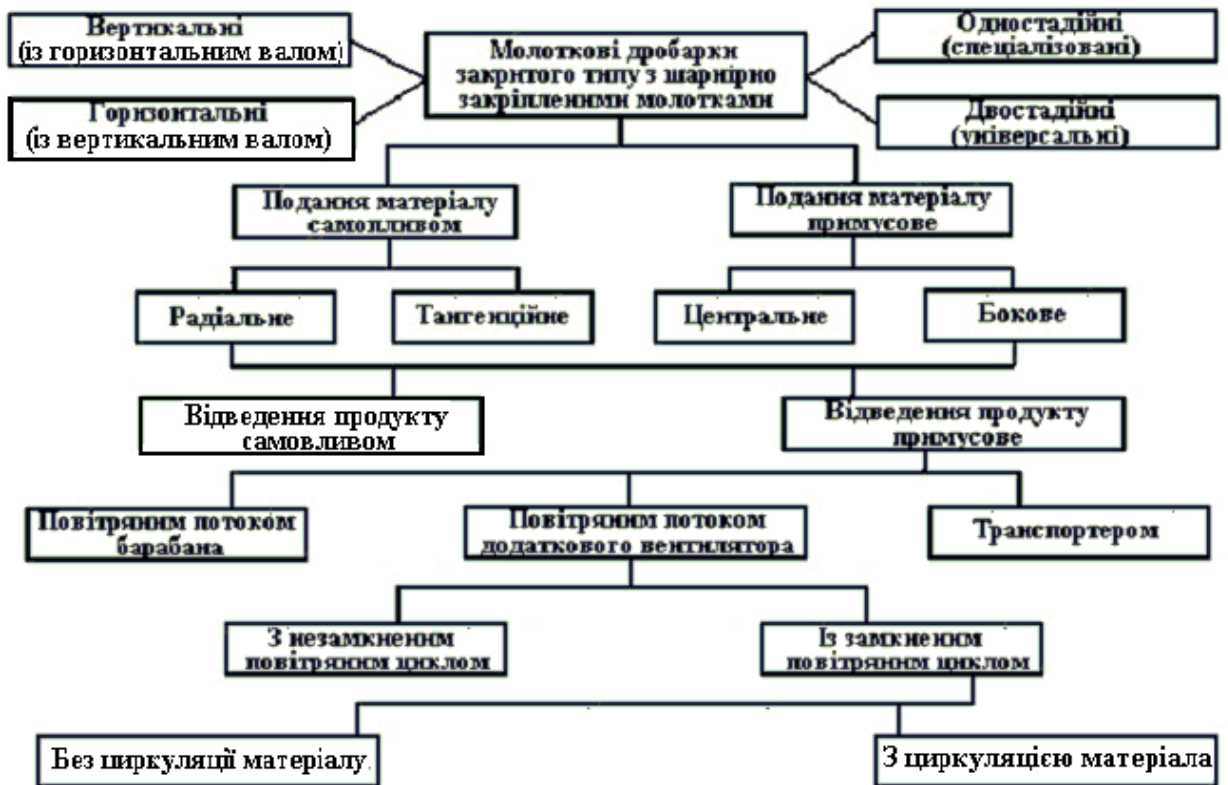


Рисунок 5.5 - Класифікація молоткових дробарок за способом організації робочого процесу

На відміну від молоткових дробарок з жорстко закріпленими робочими органами (билами), їх прийнято називати роторними дробарками.

До робочих органів, які змінюють якісний стан перероблюваного матеріалу, належать молотки, решето і деки; до механізмів допоміжних, які забезпечують безперервність проходження технологічного процесу, транспортери-живильники, бункери з дозаторами, вентилятори, циклони, фільтри, систему трубопроводів і вивантажувальні транспортери.

Заводи-виготовлювачі сільськогосподарської техніки випускають кілька типів молоткових дробарок для подрібнення фуражного зерна: КДУ-2, ДДМ, ДМ, ДЗ-Ф-2, ДКМ-5, ДБ-5 та інші.

Дробарка КДУ-2 “Українка” призначена для подрібнювання зерна, сіна, сухих кукурудзяних стебел і початків, макухи, зеленої маси і коренебульбоплодів. Крім того, на ній можна виготовляти кормові суміші з

декількох компонентів із введенням рідких добавок. Дробарку можна використовувати як окрему машину або в комплекті устаткування кормоприготувальних споруджень.

Дробарка КДУ-2 (рисунки 5.6, 5.7) складається з завантажувального бункера, живлючого і пресуючого транспортерів, ріжучого барабана, дробильного апарата, вентилятора, пневмопровода з циклоном і шлюзовим затвором, рами, приводного електродвигуна і захисної електроапаратури.

Дробильний апарат включає ротор і дробильну камеру. На валі ротора жорстко посаджено 8 дисків. На краях кожного з них шарнірно навішано по 15 пластинчастих молотків у шаховому порядку. Барабан обертається в дробильній камері, утвореній двома боковинами корпусу, решетою і рифленою декою. Змінне решето затискається кришкою дробильної камери за допомогою накидних замків. При обробці соковитих кормів замість змінного решета закріплюють вставну викидну горловину.

Для подрібнення соковитих і грубих кормів використовується ножовий барабан. Він має таку будову. На двох фігурних сталевих дисках закріплені три спіральні ножі. Зазор між ножем і протиріжучою пластиною, повинен бути не більше 0,55 мм. Його регулюють двома гвинтами. Живильні і пресуючі транспортери приводяться в дію ланцюговими передачами через редуктор, що знаходиться під рамою живильного транспортера.

У нижній частині бункера дробарка КДУ-2 встановлена поворотна засувка для регулювання подачі зерна у дробарку. На скатній дошці розташований магнітний сепаратор.

Дробарка приводиться в дію через автоматичну фрикційну муфту, яка насаджена на вал електродвигуна.

При подрібнюванні фуражного зерна ріжучий барабан відмикають. Для цього приводні паси барабана знімають і встановлюють відповідне решето. Зерно з бункера надходить в дробильну камеру, де за допомогою молотків і дек подрібнюється до часток необхідних розмірів, які проходять через отвори решета у зарешітний простір, звідки відсосуючим патрубком за допомогою вентилятора подаються в циклон. Проходячи спіральну горловину циклона, повітряний потік обертається, відкидаючи частки корму в нижню конічну частину циклона. Ротором шлюзового затвора вони виносяться у вивідний двохпатрубковий розтруб і потрапляють у мішок або бункер. Повітряний потік виходить із циклона разом із борошняним пилом і через зворотний трубопровід із фільтрувальним рукавом знову потрапляє в дробильну камеру.

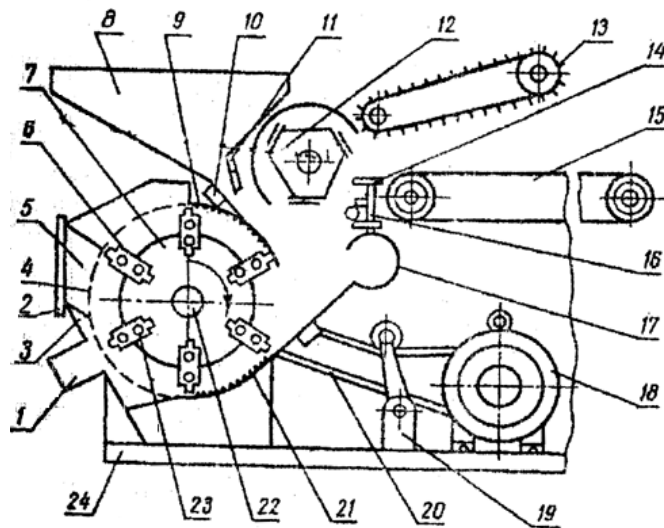


Рисунок 5.6 - Схема дробарки КДУ-2: 1- відсосуючий патрубок; 2- кришка вивантажувального люка; 3- вставна викидна горловина; 4- решето; 5- кришка дробильної камери; 6- молоток; 7- диск ротора; 8- бункер; 9- верхня дека; 10- верхній магнітний сепаратор; 11- поворотна заслінка; 12- ріжучий барабан; 13- пресуючий транспортер; 17- підвідний повітряний патрубок; 18- електродвигун; 19- натяжний пристрій; 20- нижній магнітний сепаратор; 21- нижня дека; 22- вал ротора; 23- вісь; 24- рама.

При подрібнюванні сіна та інших грубих кормів у борошно в роботу включають ріжучий апарат, а отвір для завантаження зерна в бункері перекривають. При переробці соковитих кормів замість решета закріплюють вставну викидну горловину і відбивний козилок, а відсосуючий патрубок знімають.

Дробарка безрешітна ДБ-5 (рисунок 5.9) призначена для подрібнення фуражного зерна вологістю не більше 17% для різних видів і статево-вікових груп тварин.

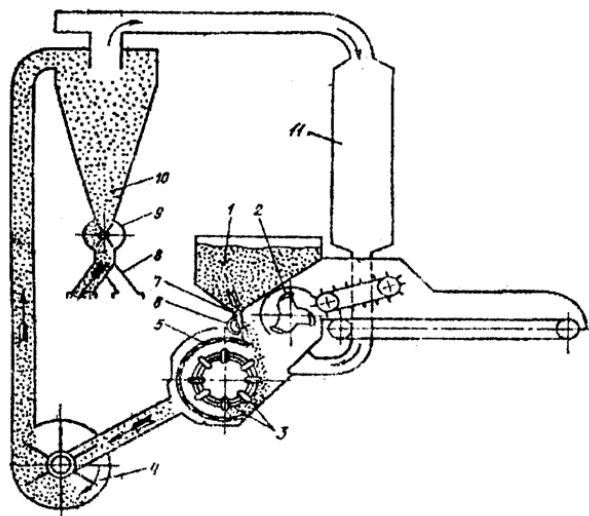


Рисунок 5.7 - Технологічна схема подрібнювання сипучих кормів: 1- бункер; 2- ножовий барабан; 3- молотки; 4- вентилятор; 5- решето; 6- магнітний

сепаратор; 7- заслінка; 8- розтруб; 9-шлюзовий затвор; 10- циклон; 11- фільтруючий рукав.

Дробарка виробляється у двох модифікаціях:

– як самостійна машина - ДБ-5-1 (укомплектована завантажувальним і вивантажувальним шнеками);

– для комплектації комбікормових агрегатів ОКЦ тощо – ДБ – 5-2 (без допоміжних шнеків).

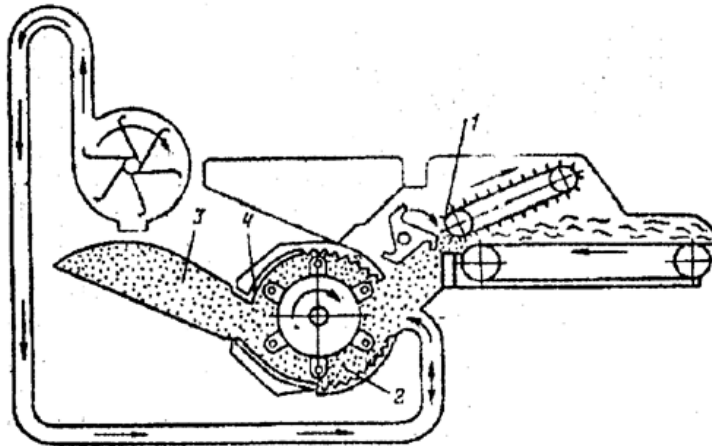


Рисунок 5.8 - Технологічна схема подрібнювання вологих кормів:

1- живильник; 2-дробильна камера; 3- дефлектор із козирком, 4- викидна горловина.

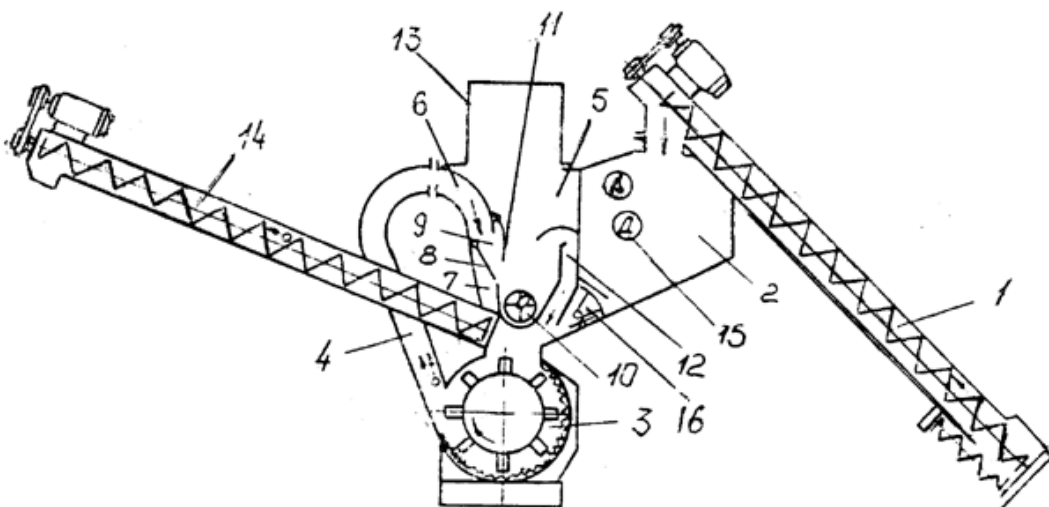


Рисунок 5.9 - Технологічна схема дробарки ДБ -5: 1- шнек завантажувальний; 2- бункер; 3- камера подрібнювання; 4- кормопровід; 5- розподільна камера; 6- дефлектор; 7- зворотній канал; 8- заслінка; 9- вікно для проходу готового продукту; 10- шнек дробарки; 11- козирок; 12- рециркуляційний канал для повітря; 13- фільтр; 14- вивантажувальний шнек; 15- датчики верхнього і нижнього рівнів; 16- заслінка.

Дробарка складається з таких основних частин: ротору з молотками, корпусу, бункеру з датчиками верхнього і нижнього рівнів, розподільної камери, рами і механізмів приводу.



Технологічний процес подрібнення відбувається таким чином: фуражне зерно завантажується в бункер, де за допомогою датчиків рівня підтримується необхідна його кількість вмиканням і вимиканням завантажувального транспортера. Подача зерна в камеру подрібнення регулюється автоматично поворотом заслінки за допомогою окремого механізму привода або вручну важелем. При ручному управлінні контроль завантаження виконується за допомогою амперметра. Механізм управління заслінкою обладнано електромагнітною муфтою, яка при відмиканні струму роз'єднує вал заслінки і механізм привода, заслінка падає, перекриваючи доступ зерна у камеру подрібнення.

У камері подрібнення знаходиться ротор із молотками і деки, за допомогою яких зерно розбивається на частки, які кормопроводом 4 потоком повітря подається в розподільну камеру 5. У розподільній камері заслінкою 8 і козирком 11 подрібнений матеріал поділяється на фракції: подрібнений до необхідного розміру направляється на шнек 10 і вивантажується шнеком 14, інші по каналу 7 потрапляють на подальше подрібнення. Надлишок повітря через фільтр 13 виходить в атмосферу.

Регулювання ступеня подрібнення проводиться за допомогою зміни положення заслінки 8 і козирка 11. Заслінка 8 призначена для регулювання якості при подрібненні зерна основних фуражних культур (ячменя, пшениці, гороха, кукурудзи) і зернових сумішей кондиційної вологості. Козирок 11 використовується при подрібненні вівса, а також некондиційного зерна інших культур (вологе, пріле). Керування заслінкою і козирком використовується за допомогою важелів, розміщених на зовнішній стінці бункера. Козирок має чотири робочих положення (1, 2, 3, 4), а заслінка – вісім (1...8). Для дрібного помолу козирок і заслінку встановлюють у положенні 1. Для середнього помолу заслінка встановлюється у положенні 5, а козирок – 4. Для грубого помолу козирок встановлюють в положенні 4, а заслінка – 8. У залежності від потреб і від того, яке зерно подрібнюється, можна встановлювати і проміжні положення для отримання необхідного помолу.

Дробарка кормів ДКМ - 5 призначена для подрібнення зерна і грубих кормів у технологічних лініях приготування кормів.

Вона складається з таких основних вузлів: дробарки, завантажувального шнека, вивантажувального шнека, шафи управління і підставки під вивантажувальний шнек.

Процес подрібнення фуражного зерна проходить у відповідності до функціональної схеми (рисунок 5.10).

Зерно подається з бункера завантажувальним шнеком 1 в бункер 2. Завантаження бункера регулюється датчиками верхнього і нижнього рівнів 14. З бункера через щілину між заслінкою 3 і похилою нижньою стінкою зерно проходить через магнітний сепаратор 15 у дробильну камеру, де подрібнюється за

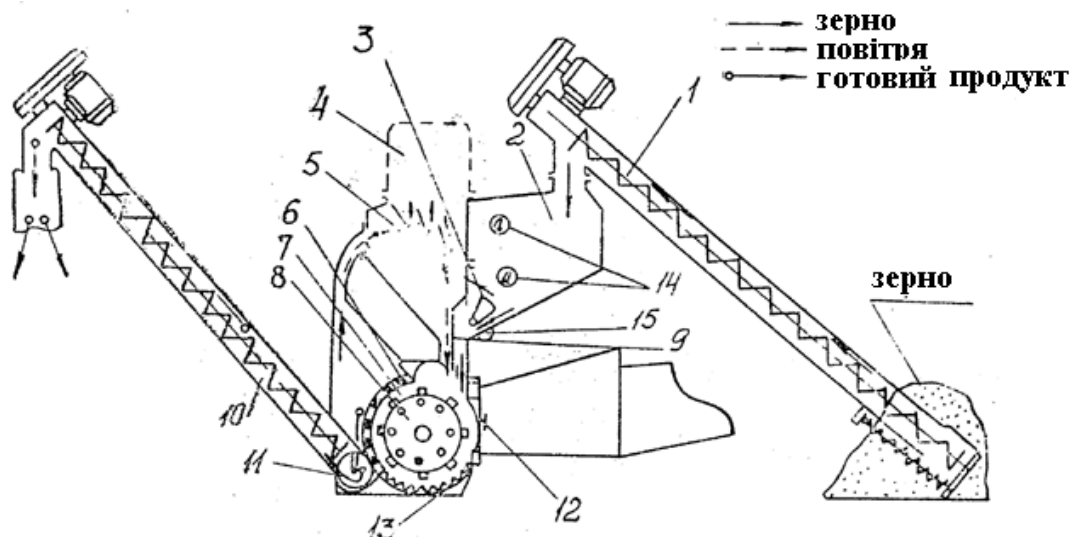


Рисунок 5.10 - Функціональна схема дробарки ДКМ – 5 (робота на зерні):  
 1- шнек завантажуючий; 2 – бункер; 3- заслінка; 4- фільтр; 5- пилевідокремлювач;  
 6- змінне решето; 7- камера подрібнення; 8- ротор; 9- заслінка; 10- шнек вивантажуючий; 11- шнек дробарки; 12- кришка; 13 – деки;  
 14- датчики рівня; 15- магнітний сепаратор

допомогою молотків і дек 13. Подрібнений продукт через змінне решето 6 потрапляє в горизонтальний шнек дробарки 11, який подає його у вивантажувальний шнек 10. Надлишок повітря, який створюється ротором, із-за решітного простору надходить в камеру пилевідокремлювача 5 і частково викидається через фільтр 4. При подрібненні зерна отвір для подачі грубих кормів перекривають кришкою 12 з декою, живильник вимикається.

Змінні решета для ячменю і пшениці - з отворами 4; 6; 8 мм, вівса – 8;16 мм.

Вологість зерна повинна бути в межах 12-14%. При подрібненні вівса вологістю більше 12% використовують решета з діаметром отворів 16 мм.

Процес подрібнення грубих кормів виконується таким чином (рисунок 5.11): маса транспортером або вручну подається в приймальний лоток 19 живильника, який має нерухомий внутрішній 17 і рухомий зовнішній 18 шнеки. Рухомий шнек захоплює масу і подає в камеру подрібнення, при цьому відбувається дозування і пресування корму. Матеріал подається на подрібнення у вигляді витого рулону, подрібнюється молотками, через решето потрапляє на шнек дробарки 11 і шнеком 10 вивантажується.

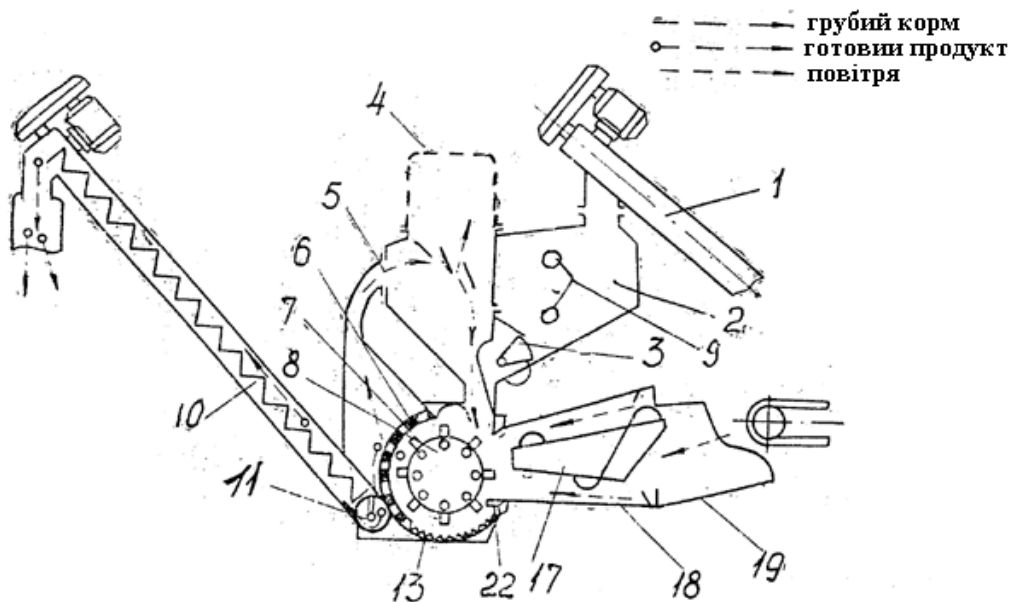


Рисунок 5.11 - Функціональна схема дробарки ДКМ – 5 (робота на грубих кормах і качанах кукурудзи): 17- внутрішній шнек живильника (нерухомий); 18- зовнішній шнек живильника (рухомий); 19- лоток; 22- пластина

При подрібненні грубих кормів завантажувальний шнек 1 і бункер 2 участі і не беруть. Кришка 12 виймається.

Вологість грубих кормів повинна бути 10-17%, решето – з діаметрами отворів 16 мм.

При подрібненні сіна і соломи на січку (рисунок 5.10) без решета подрібнений продукт видаляється з камери подрібнення через горловину 20 і дефлектор 21, встановлених замість решета.

Вивантажуючий, завантажуючий шнеки, а також шнек дробарки повинні бути вимкненими. З шнека дробарки знімають привідні паси.

Привід ротора дробарки, завантажуючого і вивантажуючого шнеків виконується від окремих електродвигунів, а живильника - від мотор - редуктора.

Привід заслінки 3 виконується як вручну - за допомогою важеля, так і автоматично - за допомогою електродвигуна, зубчатої передачі і електромагнітної муфти, яка встановлена на валу заслінки. При вимиканні струму електромагнітна муфта від'єднує вал заслінки від привода, заслінка падає і перекриває доступ зерна в камеру подрібнення. При ручному управлінні контроль завантаження дробарки виконується за допомогою амперметра – індикатора, який розміщений на дверях шафи управління.

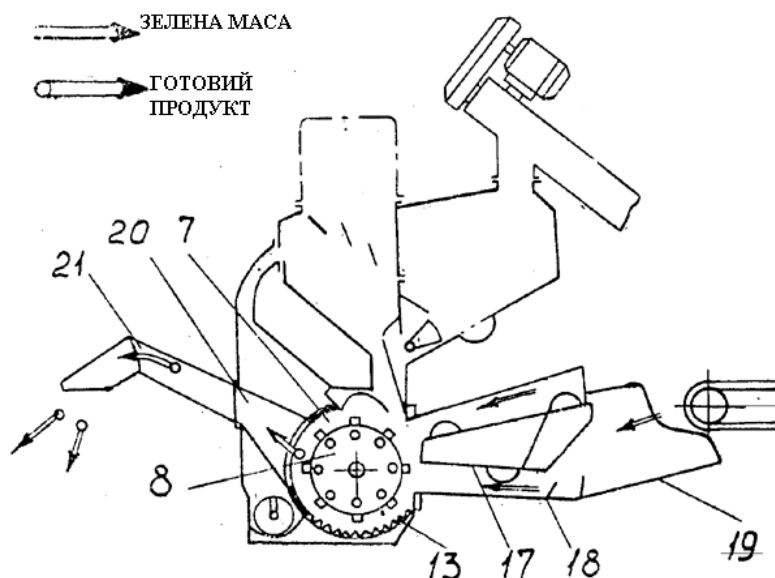


Рисунок 5.12 - Функціональна схема дробарки ДКМ – 5 (приготування січки)

20- горловина; 21- дефлектор

Дробарка Д – 0,6 “Мурашка” призначена для подрібнення фуражного зерна і зерносумішей різних культур на фермах, у селянських господарствах та орендних підприємствах. Вона обладнана бункером для зерна і шнеком із розподільником для вивантаження і затарювання подрібненої маси.

Дробарки – подрібнювачі кормів типу ІРТ використовують переважно на великих фермах і спеціалізованих комплексах великої рогатої худоби для переробки грубих кормів у розсипному стані, рулонах або тюках, зв’язаних шпагатом, і завантаження подрібненої маси в транспортні засоби. Тюки, зв’язані дротом, попередньо звільняють від нього.

Привід робочих органів дробарки-подрібнювача ІРТ- 165 (рисунок 5.13; 5.14) здійснюється від вала відбору потужності тракторів класу 3 кН або 5 кН. Основними конструктивно-функціональними елементами подрібнювача є бункер із щитом, молотковий ротор, змінне решето, горизонтальний і похилий розвантажувальні транспортери, підйомник транспортера, гідропривід, мультиплікатор та шасі.

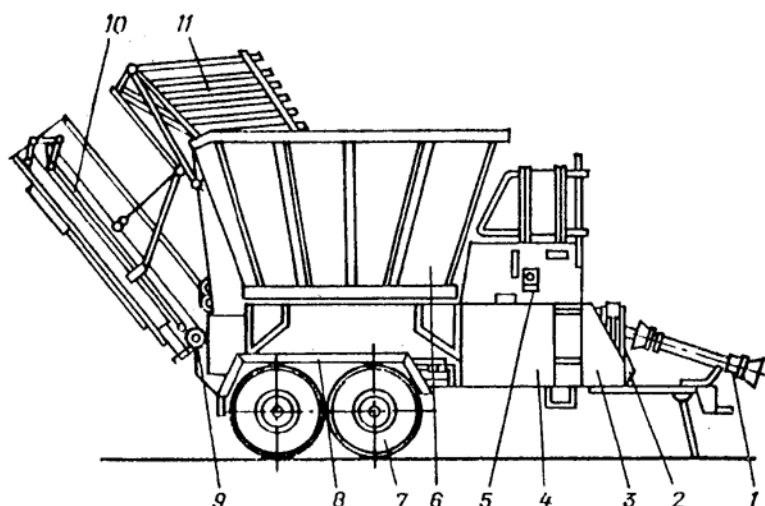


Рисунок 5.13 - Дробарка-подрібнювач IPT-165: 1 – телескопічний вал; 2 – мультиплікатор; 3 – рама; 4 – гідропривід; 5 – місток для технічного обслуговування; 6 – бункер; 7 – шасі; 8 – горизонтальний транспортер; 9 – лебідка; 10 – похилий транспортер; 11 – щит

Завантажувальний бункер складається з чотирьох з'єднаних між собою секцій, закріплених на вінці, дефлектора, ущільнювача і днища. Він опирається на ролики і має можливість обертатися навколо своєї осі. Дефлектор, встановлений на боковій стінці всередині бункера, призначений для запобігання зависанню корму. Над бункером розміщено нерухомий щит, який спрямовує корм у бункер і запобігає потраплянню неподрібненого корму на розвантажувальний транспортер. Напрямна спіраль на днищі спрямовує корм до центра бункера і сприяє рівномірному завантаженню ротора по його довжині.

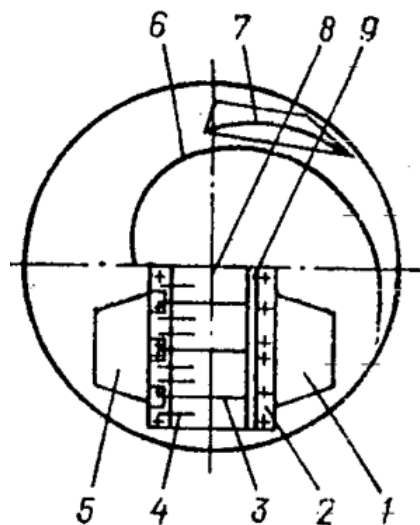


Рисунок 5.14 - Днище завантажувального бункера: 1 – правий люк; 2 – відсікач; 3 – ліфтер; 4 – гребінка; 5 – лівий люк; 6 – прямна спіраль; 7 – дефлектор; 8 – молотковий ротор; 9 – змінне решето.

Головний робочий орган подрібнювача – молотковий ротор. Він складається із валу 4 (рисунок 5.15) з набором дисків 8, в отворах яких є чотири осі (шворні) 6 з шарнірно підвишеними молотками 5. Ротор встановлений під днищем бункера, а знизу закритий змінним решетом 12, що кріпиться болтами до напрямних дуг.

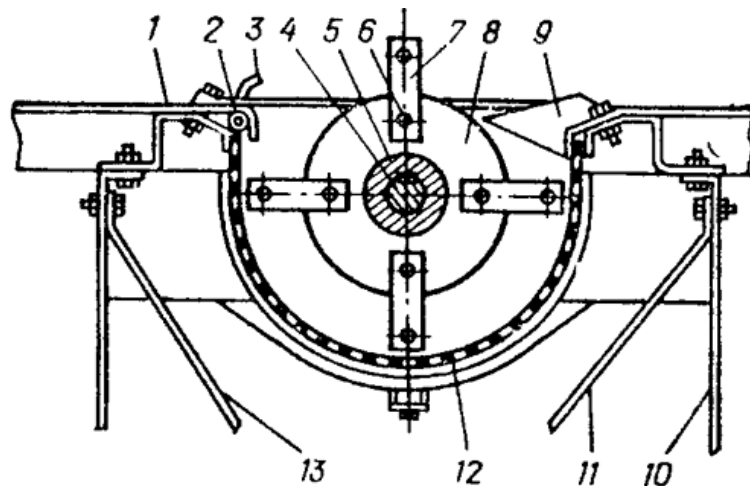


Рисунок 5.15 - Подрібнювальний апарат: 1 – днище; 2 – труба; 3 – відсікач; 4 – вал; 5 – втулка; 6 – вісь підвісу (шворінь); 7 – молоток; 8 – диск; 9 – гребінка; 10 – рама; 11, 13 – ліва та права боковини; 12 – решето

Горизонтальний транспортер змонтований на рамі під решетом. Він призначений для вивантаження подрібненого корму на похилий транспортер. Кут нахилу останнього регулюється лебідкою. За її допомогою похилий транспортер можна складати в транспортне положення.

Гідравлічний привід забезпечує регулювання частоти обертання бункера, його реверс і зупинку. До нього належить гідронасос, що приводиться в дію через клинопасову передачу від приводного вала, реверсивний золотник із тягою керування, гідромотор, запобіжний клапан, гідродросьель, система трубопроводів та масляний бак з фільтром для очищення і масломіром. Гідромотор обертає барабан за допомогою ланцюгової передачі і пневматичного колеса, притиснутого біговою доріжкою до ободу бункера. Мультиплікатор підсилює тиск робочої рідини у гідроприводі.

Робочий процес подрібнювача проходить так. Після того, як молотковий ротор набере номінальних обертів ( $2000 \text{ хв}^{-1}$ ), а включений бункер стане обертатися за напрямком стрілки на його боковині, навантажувачами, або іншими механічними засобами, грубі корми в рулонах, тюках, чи розсипному стані завантажують у бункер до такого рівня, щоб матеріал не випадав через край.

При обертанні бункера матеріал подається на ротор, затягується молотком між зубцями гребінки в робочу камеру, де в результаті багаторазової взаємодії з молотками, зубцями гребінки та решетом подрібнюється. Продукти подрібнення просіваються крізь решето на горизонтальний транспортер, подаються ним на похилий транспортер і вивантажуються в технологічну лінію кормоцеху або в транспортні засоби.

З метою оптимального завантаження подрібнювача залежно від виду, вологості та стану (розсипний, пресований) перероблюваного матеріалу та крупності кінцевого продукту регулюють подачу сировини на молотковий ротор: встановленням ліфтерів, зміною частоти обертання бункера, переставленням його дефлекторів, зміною кута нахилу гребінки і відсікача.

Використання ліфтерів – це один із ефективних способів зниження енергоємності процесу. Вони підтримують подрібнювальний матеріал, запобігають гальмуванню ним молоткового ротора. Обкатку подрібнювача рекомендується здійснювати тільки з установленими ліфтерами, знімати ж – при подрібнюванні розсипного матеріалу. У такому випадку замість них встановлюють змінні зубці.

Швидкість обертання завантажувального бункера регулюють за допомогою гідродроселя, рукоятка керування якого знаходиться з правого боку від подрібнювача.

Таблиця 5.4 - Технічні характеристики дробарок

Показники	КДУ -2	ДБ -5 -1	ДКМ -5	ІРТ- 165	ІРТ - 80	Д- 0,6 “Мурашка”
Продуктивність, т/год, при подрібненні зерна	2,0	2-6	3,5			0,35-1,0
сіна на борошно, соломи зеленої трави	0,5 3,0			0,6.....11,3*	3...8	
Коренеплодів	7,0					
Потужність привода, кВт	30	32,2 30;1,5;1,5;0,01**	33,7 30;1,5;1,5;1,5;** 0,01	120	58	5,87
Діаметр ротора, мм		500	500	530		400
Частота обертання, об/хв	2725	2940	2940	2000	985	
Кількість молотків, шт	90	80	б = 5мм -80 б = 4мм - 120	40	24	24
Діаметр отворів решета, мм	4,6,8,10		4,6,8,16	25,50,75		
Місткість бункера, м <sup>3</sup>		0,06	0,06			0,06
Маса, кг	1290	990	1280	4200	2500	130
Виробник	ВАТ “Новоград- Волинсьільмаш	ВАТ “Новоград- Волинсьільмаш	ВАТ “Новоград- Волинсьільмаш			ВАТ “Новоград- Волинсьільмаш

\* Продуктивність більша при подрібненні тюків,

\*\* Потужність приводів дробарки, завантажувального і вивантажувального шнеків, двигуна приводу заслінки.



Дефлектори бункера мають два місця (зверху і знизу) і два способи (широкою частиною доверху або донизу) кріплення їх до стінки. Варіантами розміщення дефлекторів можна досягти раціонального режиму подачі матеріалу на молотковий ротор. При подрібнюванні розсипного дрібного матеріалу (наприклад, соломи) обидві лопаті доцільно ставити знизу рулонів або довгостеблових матеріалів – одну лопать зверху, а другу – знизу.

Верхнє положення зубців гребінки зменшує навантаження на ротор, а нижнє – збільшує. Змінюють положення гребінки 9 (рисунк 5.15) за допомогою косих шайб та регулювання труби 2. Знімання регулювальної труби і встановлення косих шайб під головки кріпильних болтів товщим боком до ротора призводить до опускання гребінки, встановлення регулювальної труби на край сітки і кріплення гребінки без косих шайб – до піднімання.

Ступінь подрібнення продукту регулюють підбиранням відповідного решета. Подрібнювач комплектується решетами з отворами діаметром 20, 50 та 75 мм. Для заміни решета послаблюють кріплення гребінки і відсікача та знімають їх. За допомогою монтажною лопатки (встановлюючи її в отвори решета і спираючись на диски ротора) обертають решето навколо молоткового ротора на установочних полицях, піднімають його у верхнє положення і виймають. Нове решето встановлюють на установочній полиці, по ній переміщують його в нижнє робоче положення. Після цього ставлять на місце і закріплюють гребінку та відсікач.

У випадку перевантаження ротора і зупинки бункера плавно перемикають хід бункера у зворотному напрямку. Після усунення перевантаження знову вмикають обертання бункера у робочому напрямку.

Дробарка – подрібнювач ІРТ – 80 може подрібнювати грубі корми вологістю до 60% у розсипному і пресованому вигляді з одночасним завантаженням подрібненої маси в транспортні засоби. Вона є стаціонарною машиною з приводом робочих органів від електродвигуна потужністю 55 кВт.

Машина складається з рами, завантажувального бункера місткістю 5 м<sup>3</sup>, ротора з приводом, опорних котків, розвантажувального пристрою та шафи керування.

Рама виконана разом з корпусом камери подрібнювання, на бокових стінках якої встановлено нерухомі торцеві деки, а на периферії – регульовані радіальні. Камера подрібнювання з боку розвантажувальної горловини має фланець для кріплення розвантажувального пристрою і люк для очищення камери при забиванні кормом. Крім того, є ще один люк для видалення води.

На днищі біля ротора розміщено щитки, які забезпечують стабілізацію подачі корму на ротор.

## **5.3 Теорія молоткових дробарок**

### **5.3.1 Робочий процес молоткової дробарки**

При сталому режимі роботи молоткових дробарок сировина проходить такі етапи: подачу, подрібнення і відвід готового продукту.

При роботі дробарки в камері подрібнення завжди знаходиться визначена кількість сировини, яка необхідна для завантаження камери. Цей матеріал розташовується по периферії камери тонким шаром і приводиться під дією

молотків у багаторазовий круговий рух, тобто циркуляція його є характерною рисою дробарок закритого типу. При цьому частки матеріалу перебувають в зваженому стані.

При надходженні в камеру зерно може бути відкинуте до периферії не ударом молотка, а повітряним потоком, і тоді перший удар воно одержить об деку або решето. Таким чином, у молоткових дробарках сільськогосподарського призначення матеріал подрібнюється внаслідок багаторазового ударного впливу молотків і стирання його в безупинно циркулюючому шарі. При цьому дію руйнації матеріалу забезпечують також деки і решета, гострі крайки яких працюють як різці (протиризальна частина), що деформують частки на зовнішній стороні циркулюючого шару.

З аналізу робочого процесу молоткової дробарки випливає, що ефективність її роботи залежить від багатьох факторів, що у загальному випадку можна розділити на технологічні, механічні та конструктивні.

До числа технологічних факторів відносяться ступінь подрібнення і якість кінцевого продукту, а також фізико-механічні властивості вихідної сировини. Перші є заданими й обумовлені зоотехнічними вимогами, а фізико-механічні властивості сировини при створенні нових дробарок необхідно враховувати, щоб знайти найбільш ефективні способи впливу робочих органів на продукт, що подрібнюється.

З конструктивних факторів головне значення мають розміри камери подрібнення, особливості конструкції робочих органів, спосіб подачі і відводу продукту, зазор між кінцями молотків і решетом тощо. Але головну роль відіграють механічні фактори: швидкість руху молотків, швидкість переміщення матеріалу по решету, динамічні властивості барабана, повітряний режим у дробильній камері, ударний імпульс і обумовлена ним величина роботи деформації при ударі тощо.

### **5.3.2 Робота деформації при ударі**

Теорію удару стосовно сільськогосподарських машин розробив академік В. П. Горячкін. Її і покладено в основу аналізу робочого процесу молоткових дробарок.

При цьому виходимо з того, що в дробарках має місце вільний удар, коли протидією є тільки інерція самих шматків матеріалу, що подрібнюється. Припускаємо також, що між молотком і шматком матеріалу виникає зовсім непружний, прямий, центральний удар.

Ясно, що після удару молотка по зерну кількість руху молотка (ударний імпульс) буде змінюватися і складе:

$$\mathbf{i}_M = M(\mathbf{v}_M - \mathbf{v}_K), \mathbf{H} \cdot \mathbf{c}; \quad (5.34)$$

де  $M$  – маса молотка, кг;

$v_M, v_K$  – швидкість молотка до і після удару, м/с.

Вважаємо, що початкова швидкість зерна, що надходить у дробильну камеру до зустрічі з молотком, дорівнює нулю. Після удару воно здобуває швидкість, рівну кінцевій швидкості молотка ( $v_K$ ), і кількість руху зерна складе:

$$\mathbf{i} = m \cdot \mathbf{v}_K, \mathbf{H} \cdot \mathbf{c}; \quad (5.35)$$

де  $m$  – маса одного зерна, кг;

$v_k$  – швидкість зерна, рівна швидкості молотка після удару, м/с.

Очевидно, що для енергетичної оцінки процесу необхідно знати величину швидкості молотка після удару ( $v_k$ ). Порівняємо праві частини рівнянь (5.34) і (5.35):

$$M(v_M - v_k) = mv_k$$

чи запишемо в такому вигляді:

$$Mv_M = Mv_k + mv_k = v_k(M + m).$$

Тоді

$$v = \frac{Mv}{M + m} = \frac{Mv}{M\left(1 + \frac{m}{M}\right)} = \frac{v}{1 + \frac{m}{M}}, \text{ м/с}, \quad (5.36)$$

З отриманого рівняння (5.36) випливає, що величина кінцевої швидкості молотка залежить від співвідношення мас взаємоударяючих тіл і змінюється за гіперболою.

Якщо  $m \ll M$  чи  $\frac{m}{M} \rightarrow 0$ , тоді  $v_k \approx v_M$ .

Визначимо далі, чому дорівнює корисна робота при ударі молотка по зерну. З курсу теоретичної механіки відомо, що при непружному ударі частина кінетичної енергії витрачається на рух системи взаємоударяючих тіл, а інша частина перетворюється на роботу деформації цих тіл. У нашому випадку корисною роботою є та, котра витрачається на деформацію і руйнування матеріалу. Визначимо величину, яка дорівнює цій роботі ( $A_{\text{деф}}$ ).

Очевидно, що величина кінетичної енергії молотка до удару буде визначатися за допомогою формули:

$$A_0 = \frac{Mv_M^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (5.37)$$

Кінетична енергія зерна ( $A_{0z}$ ) буде дорівнює нулю, тому що швидкість зерна до удару через малу висоту падіння прийнята рівній нулю.

Після удару величина кінетичної енергії молотка і зерна складе:

$$A_M = \frac{Mv_k^2}{2}, \text{ Дж}; \quad (5.38)$$

$$A_z = \frac{mv_k^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (5.39)$$

За законом збереження енергії при ударі можна записати, що сумарна кінетична енергія дорівнює:

$$A_0 = A_M + A_z + A_{\text{деф}}, \text{ Дж}. \quad (5.40)$$

Тоді робота деформації  $A_{\text{деф}} = A_0 - A_M - A_z$ . Підставивши відповідні значення, одержимо:

$$A_{\text{деф}} = \frac{Mv_M^2}{2} - \frac{Mv_k^2}{2} - \frac{mv_k^2}{2} = \frac{Mv_M^2 - Mv_k^2 - mv_k^2}{2} = \frac{Mv_M^2 - Mv_k^2 - mv_M v_k}{2},$$

але  $mv_k = M(v_M - v_k)$ .

Тоді

$$A_{\text{деф}} = \frac{Mv_M^2 - Mv_K^2 - M(v_M - v_K)v_K}{2} = \frac{Mv_M^2 - Mv_K^2 - Mv_Mv_K + Mv_K^2}{2} = \frac{Mv_M(v_M - v_K)}{2}.$$

Згадаємо, що  $M(v_M - v_K) = mv_K$ .

Тоді корисна робота деформації складе:

$$A = \frac{mv_Mv_K}{2}, \text{ Дж.} \quad (5.41)$$

З отриманого рівняння (5.41) видно, що корисна робота деформації змінюється за законом прямої і залежить від швидкості молотка після удару ( $v_K$ ).

Але ми вже знаємо, що кінцеві швидкості залежать від відношення  $\frac{m}{M}$ , отже, і

робота деформації залежить від співвідношення мас взаємоударяючих тіл. Практично необхідно прагнути до того, щоб маса зерна була набагато меншою від маси молотка ( $m \ll M$ ). Тоді  $v_K \approx v_M$ , тобто буде справедливим такий вираз:

$$A_{\text{деф}} = \frac{mv_M^2}{2}, \text{ Дж} \quad (5.42)$$

Але ми знаємо, що в дробарках відбувається процес багаторазового удару: зерно після удару молотка вдаряється об деку, тобто воно само в такому випадку є тілом, що вдаряє. Необхідно мати на увазі, що його маса набагато разів менша за масу деки. Аналогічно вищевикладеному, визначимо кінцеву швидкість деки:

$$v = \frac{v_K}{1 + \frac{M_D}{m}}, \frac{M}{c}. \quad (5.43)$$

Але  $M_D \gg m$ , тоді  $\frac{M_D}{m} \rightarrow \infty$ , отже,  $v_{\text{к.д.}} = 0$ , тобто весь запас кінетичної енергії зерна в даному випадку іде на його деформацію. Звідси впливає дуже

важливий висновок: кінетична енергія на відкидання зерна  $A_3 = \frac{mv_K^2}{2}$  у молотковій дробарці не губиться даремно; вона перетворюється на роботу руйнування при ударі зерна об нерухомі частини машини (деки і решето). З урахуванням цієї обставини повна робота руйнування складе:

$$A_{\text{пов}} = A_{\text{деф}} + A_3 = \frac{mv_Mv_K}{2} + \frac{mv_K^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (5.44)$$

За умови, що  $v_K \approx v_M$ , одержимо:

$$A_{\text{пов}} = \frac{mv_M^2 + mv_M^2}{2} = mv_M^2, \text{ Дж.} \quad (5.45)$$

Необхідно, однак, пам'ятати, що всі отримані вище рівняння виведені для випадку поступального руху взаємоударяючих тіл. У молоткових дробарках, як відомо, має місце обертальний рух. У зв'язку з цим роботу деформації варто знаходити з урахуванням теореми про кінематичний момент, тобто в розрахункові формули замість мас взаємоударяючих тіл необхідно вводити їхні моменти інерції.

І остання обставина. Ми визначали роботу деформації, вважаючи, що має місце досконалий непружний удар. Насправді зерно та інші корми мають пружні властивості, що характеризуються коефіцієнтом відновлення ( $k$ ). З урахуванням цього отримуємо вираз:

$$A_{\text{деф}} = (1 - k^2) \frac{mv_M v_K}{2}$$

або при  $v_K \approx v_M$

$$A_{\text{деф}} = (1 - k^2) \frac{mv_M^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (5.46)$$

Так само і повна робота руйнування визначається за формулою:

$$A_{\text{пов}} = (1 - k^2) mv_M^2, \text{ Дж.} \quad (5.47)$$

Коефіцієнт відновлення, за дослідними даними, для зерна середньої сухості беруть рівним 0,3...0,4.

### 5.3.3 Оцінка механічних і конструктивних факторів подрібнення

Щоб дати оцінку механічним і конструктивним фактором подрібнення, необхідно визначити величину сумарної корисної роботи, що іде на подрібнення циркулюючого в дробильній камері матеріалу. Позначимо масу цього матеріалу через  $M_{\text{ц}}$  і прийmemo, що він подрібнюється за час  $t$  с.

Тоді робота деформації при ударах буде:

$$A_{\text{деф.сл}} = \frac{zn}{60} t \frac{M_{\text{ц}} v_{\text{відн}}^2}{2},$$

де  $z$  – число молотків;

$n$  – частота обертання ротора,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$t$  – час перебування матеріалу в дробильній камері, с;

$M_{\text{ц}}$  – маса циркулюючого шару сировини у завантажувальній камері, кг;

$v_{\text{відн}}$  – швидкість молотків відносно шару сировини, м/с.

Зрозуміло, що на процес подрібнення матеріалу першорядний вплив має величина робочої швидкості молотків. У сучасних конструкціях дробарок вона досягає 100 м/с. Установлено, що зі збільшенням швидкості молотків збільшується ступінь подрібнення матеріалу, зростає продуктивність дробарки; зростає швидкість руху шару й ефективність ударних дій на нього, що призводить до переподрібнення матеріалу і зайвої витрати енергії; збільшується потужність на холостий хід дробарки у зв'язку з тим, що ротор працює як вентилятор. Таким чином, величина робочої швидкості молотків повинна бути оптимальною, її не можна збільшувати безмежно, тому що при цьому виявляються як позитивні, так і негативні явища.

Отже, швидкість молотків відносно шару, тобто швидкість ударів молотків по шару, дорівнює:

$$v_{\text{відн}} = v_M - v_{\text{сл}}, \frac{M}{c}. \quad (5.48)$$

За експериментальними даними встановлено, що  $v_{\text{сл}} = (0,4...0,5)v_M = \beta_c v_M$ , де  $\beta_c = 0,4...0,5$ .

Очевидно, що відносна швидкість дорівнює швидкості руйнування, тобто  $V_{\text{відн}} = V_{\text{руйн}}$ .  
Тоді:

$$V_{\text{руйн}} = v_m - \beta_c v_m = v_m (1 - \beta_c), \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (5.49)$$

Для руйнування зерна за один удар проф. С.В. Мельников та його учні рекомендують визначити руйнуючу швидкість взаємоударяючих молотка з зерном на основі хвильової теорії поширення напруженостей:

$$V_{\text{руйн}} = \sqrt{K_d \sigma_{\text{ст}} \ln(a/x_1)} \gamma, \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (5.50)$$

де  $K_d$  – коефіцієнт динамічності (дорівнює 1,4-2,0);  $\sigma_{\text{ст}}$  – статична межа міцності, МПа;  $a$  – довжина зерна (яка залишилася після удару), м;  $\gamma$  – щільність зерна,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Робочі швидкості молотків у дробарках не забезпечують умов для одноразового руйнування зерна у зв'язку з тим, що повітряно-продуктовий шар знижує дійсну швидкість молотків. Для досягнення одноразового руйнування зерна вона повинна бути:

$$V_m = V_{\text{руйн}} + V_{\text{ш}} = (1 - \beta_{\text{ш}}), \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (5.51)$$

де  $V_{\text{ш}}$  – швидкість циркуляції повітряно-продуктового шару;

$$\beta_{\text{ш}} = V_{\text{ш}}/V_{\text{руйн}} \approx 0,4-0,5.$$

Залежність між необхідною швидкістю співударяння  $V_{\text{руйн}}$  і ступенем подрібнення зерна  $\lambda$  при багаторазовому впливові має вигляд:

$$V_{\text{руйн}} = \sqrt{K_z (0,81 + 2,3 \lg \lambda)}, \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (5.52)$$

де  $K_z$  – характеристика фізико-механічних властивостей зерна.

Кількість ударів певної інтенсивності, яка необхідна для отримання заданого ступеня подрібнення, можна визначити за формулою:

$$Z_{\text{уд}} = a/(a - x_1) = \lambda / (\lambda - 0,445) \quad (5.53)$$

Швидкість руйнування можна визначити з теорії пластичності. Доцільно скористатися при цьому теорією академіка Н. Є. Жуковського, у відповідності до якої швидкість руйнування залежить від швидкості поширення звукових хвиль у матеріалі, що руйнується:

$$v_{\text{раз}} = \frac{C \sigma_p}{E} = \sigma_p \sqrt{\frac{1}{\rho E}}, \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

де  $\sigma_p$  – напруга, при якій руйнуються частки, Па;

$\rho$  – щільність продукту,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$E$  – модуль пружності зерна, Па;

$C$  – швидкість поширення звуку в матеріалі, що руйнується  $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ,

Для дробарок закритого типу величину швидкості поширення звукових хвиль варто зменшувати на 15...20 % у зв'язку з тим, що удари наносяться багаторазово.

### 5.3.4 Розрахунок молоткових дробарок

При розрахунку молоткових дробарок визначають: розміри барабана (діаметр і довжину)  $D$  і  $L$ ; розміри, кількість і порядок розміщення молотків; показники кінематичного режиму; енергетичні та техніко-економічні показники.

Вихідними даними при проектуванні є: розрахункова продуктивність дробарки,  $g$  кг/с; необхідний ступінь подрібнення матеріалу,  $\lambda$ ; основні фізико-механічні властивості матеріалу.

Розрахункова продуктивність дробарки залежить від основних розмірів барабана – діаметра  $D$  і довжини  $L$ . Визначимо зв'язок між ними і заданою продуктивністю через показник питомого навантаження (кг/(с·м<sup>2</sup>)):

$$g' = \frac{g_p}{DL}, \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}. \quad (5.54)$$

Як видно з виразу (5.50), питомим навантаженням дробарки називається відношення секундної розрахункової продуктивності до площі діаметральної проекції  $D \cdot L$  барабана.

У сучасних дробарках кормів показник питомого навантаження при швидкостях молотків 45...55 м/с складає 2...3 і відповідно 3...6 кг/м<sup>2</sup> при швидкості молотків 70.. 80 м/с.

При розрахунковому проектуванні необхідно враховувати тип барабана, що характеризується відношенням:

$$\frac{D}{L} = K. \quad (5.55)$$

За цією ознакою розрізняють два типи барабанів. Для першого з них зазначене відношення дорівнює 1...2 (А1-ДМР, КДУ-2, ДДМ, ДМ та ін.), а для другого воно складає 4...7 (А1-ДМ2Р-55(75), А1-ДМ2Р-110(160)).

У барабанів першого типу маса молотків, пальців і шайб складає близько 50% маси барабана. Барабани цього типу характеризуються високою металоємністю. Їх піддають тільки статичному балансуванню, тому що всі зазначені маси розташовані поблизу осі обертання і створюють відносно невисокий осьовий момент інерції.

У барабанів другого типу маса молотків із пальцями і шайбами складає 15...18% від усієї маси барабана. Пакети молотків значно віднесені від осі обертання і створюють великі осьові моменти інерції. Такі барабани обов'язково піддають статичному і динамічному урівноважуванню.

З урахуванням викладеного з виразу (5.51) впливає, що довжина барабана:

$$L = \frac{D}{K}, \text{ м.} \quad (5.56)$$

Тоді показник питомого навантаження буде дорівнювати:

$$g' = \frac{g_p}{D \frac{D}{K}} = \frac{g_p K}{D^2}, \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}; \quad (5.57)$$

звідси діаметр барабана:

$$D = \sqrt{\frac{g_p K}{g'}} \text{ чи } D = A \sqrt{g_p}, \text{ м.} \quad (5.58)$$

Для барабанів першого типу значення коефіцієнта А беруть 0,5...0,9, а другого – 1,0...1,9.

За величиною діаметра (D) і показником типу барабана (K) визначають його довжину (L).

Якість роботи дробильної машини та її довговічність певною мірою залежать від конструкції молотків та правильного їх монтажу. Молотки монтується на барабані за допомогою шарнірів. Дуже важливо розмістити вісь підвісу молотка таким чином, щоб реакція в шарнірі була мінімальною або зовсім зникла.

З метою визначення осі підвісу молотка проведемо такі дослідження. Для спрощення розмірковувань молоток дробильної машини покажемо у вигляді прямокутної пластини, як показано на рисунку 5.16 а.

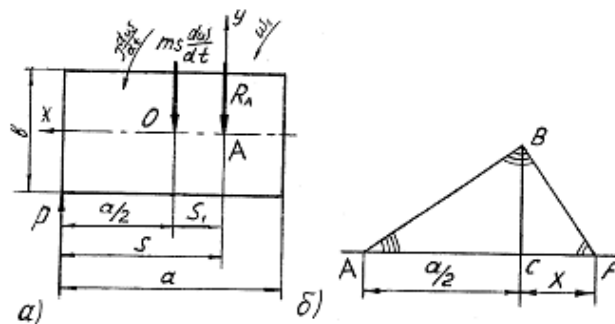


Рисунок 5.16 - Розрахункові схеми для: а)- визначення осі підвісу молотка; б)- розміщення осей симетрії молотка

У результаті обертання барабана молотки співударяються з матеріалом, що подрібнюється із зусиллям  $P$ , докладеним по дотичній до крайньої торцевої площини молотка. У результаті докладання сили в точці А вісі шарніру виникає реакція  $R_A$ , яка спрямована в сторону, протилежну дії сили. Під дією цієї ж сили  $P$  молоток обертається навколо осі підвісу з кутовим прискоренням, що дорівнює  $\frac{d\omega}{dt}$ . У результаті цього виникає момент сили інерції молотка відносно осі підвісу.

Доцільно скласти рівняння рівноваги тіла під дією всіх сил:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_y &= P - ms_1 \frac{d\omega}{dt} - R_A = 0 \\ \sum_{i=1}^n M_A &= -PS + I \frac{d\omega}{dt} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.59)$$

Вилучивши з цих рівнянь силу  $P_1$  та прирівнюючи значення реакції  $R_A$  до нуля, після перетворень отримаємо:

$$\frac{d\omega}{dt} (I - mss_1) = 0.$$

Полярний момент інерції:

$$I = m\rho^2,$$

де  $\rho$  – радіус інерції молотка відносно осі підвісу.

У загальному випадку  $I$  може бути виражений сумою моментів інерції:

$$I = I_0 + ms_1^2, \text{ кг}\cdot\text{м}^2; \quad (5.60)$$



де  $I_0$  – полярний момент інерції молотка відносно осі, що проходить через центр мас;

$m$  – маса молотка;

$S_1$  – відстань від центра мас до осі підвісу.

Враховуючи, що полярний момент інерції молотка відносно осі, що проходить через центр мас,  $I_0 = \frac{m}{12}(a^2 + b^2)$  і, підставляючи знайдене значення полярного моменту інерції в попереднє рівняння і розв'язуючи його відносно  $S_1$ , отримаємо:

$$S_1 = \frac{a^2 + b^2}{6a}, \text{ м.} \quad (5.61)$$

Величина  $S_1$  і визначає пошукове мінімальне значення місця розташування осі підвісу молотка.

Маючи розміри молотка-подрібнювача, вісь підвісу молотка можна визначити із такої геометричної побудови.

На рисунку 5.16 б показано розміщення осей симетрії молотка, що перетинаються в центрі мас. З точки С по вертикальній осі відкладаємо відрізок,

рівний  $\sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}}$ . Під прямим кутом до прямої АВ проведено лінію до перетину з

горизонтальною віссю. Перетин цих прямих у точці F становить собою місце розташування осі підвісу молотка, у чому легко впевнитись при розглядінні подібності трикутників ABC та BFC.

Для молотків такої ж форми, але з двома отворами U діаметром d, ця відстань  $S_1$  визначається за таким виразом:

$$S_1 = \sqrt{\frac{A^2}{4} + B} - \frac{A}{2}, \text{ м;} \quad (5.62)$$

де

$$A = \left( \frac{a^2 b}{\pi d^2} - \frac{a}{2} \right), \text{ м;} \quad B = \left( \frac{ab(a^2 + b^2)}{b\pi d} - \frac{d^2}{8} \right), \text{ м.}$$

Далі визначають розміри і кількість молотків.

У загальному випадку молоток не буде передавати удари на вісь підвісу, якщо квадрат радіуса ( $\rho_0$ ) інерції молотка щодо осі підвісу буде дорівнювати добутку відстані С від зазначеної осі до центра ваги на відстань l. Якщо розміри молотків задовольняють зазначену умову, такі молотки називають урівноваженими на удар.

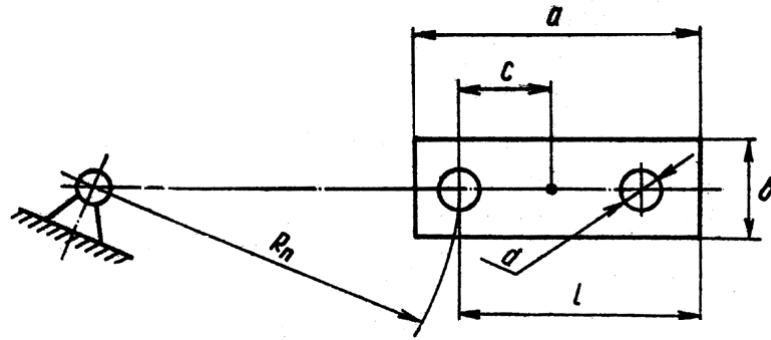


Рисунок 5.17 - Схема до розрахунку молотків

Відстань  $C$  для пластичних молотків прямокутної форми (рисунок 5.19) з одним отвором визначають за формулою:

$$C = \frac{a^2 + b^2}{6a}, \text{ м}; \quad (5.63)$$

де  $a$  і  $b$  – відповідно довжина і ширина молотка, м.

У випадку, якщо такі молотки мають два отвори, відстань  $C$  дорівнює:

$$C = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B}, \text{ м}; \quad (5.64)$$

де:

$$A = \frac{a^2 b}{\pi d^2} - \frac{a}{2}, \text{ м}; \quad B = \frac{ab(a^2 + b^2)}{6\pi d} - \frac{d^2}{8}, \text{ м}.$$

Величину радіуса підвісу беруть  $R_n = 0,346 D$ . Відстань від осі підвісу до кінця молотка  $l = 0,154D$  (якщо  $D > 0,4$  м) і  $l = 0,2 D$  (якщо  $D < 0,4$  м).

Довжину і ширину молотка орієнтовно беруть:  $a = 1,5 l (0,23 D$  і  $b = (0,4 \dots 0,5)a (0,1 D)$ .

При визначенні діаметра отвору під палець виходять з умов міцності пальця і беруть його рівним 18...20 мм.

Число молотків визначають за формулою:

$$Z_M = \frac{(L - \Delta L)Z'}{\delta}, \quad (5.65)$$

де  $L$  – довжина барабана, м;

$(L - \Delta L)$  – сумарна довжина вузлів, займаних диском і шайбами, що не перекриваються молотками, м;

$Z'$  – число молотків, що йдуть по одному сліду,  $Z' = 1 \dots 6$ ;

$\delta$  – товщина молотка, м.

Необхідно прагнути до того, щоб простір дробильної камери якнайбільше було перекрито молотками, а порядок розміщення їх не порушував умов статичної і динамічної урівноваженості барабана.

Усі зазначені розміри уточнюють після розрахунку деталей барабана на міцність.

Частота обертання ротора (кінематичний режим)  $n$  визначається за знайденим значенням  $V_M$  і діаметра барабана  $D$ :

$$v_M = \frac{\pi D n}{60}, \frac{m}{c}; \quad (5.66)$$

звідки:

$$n = \frac{60 v_M}{\pi D}, \text{хв}^{-1}. \quad (5.67)$$

Основними показниками робочого процесу проходження матеріалу через робочу камеру є: переміщення сировини, переробка (подрібнення) і відведення готового продукту.

Коловий рух матеріалів у дробильній камері у кількісному відношенні характеризується кратністю циркуляції, тобто скільки повних обертів зробить матеріал за час подрібнення до заданої величини.

Циркуляція матеріалу обумовлена дією повітряних потоків у камері. Одні з них рухаються по каналу і викликають ковзання продуктово-повітряного шару по решету, інші виносять частинки з зони подрібнення в зарешітний простір.

Таким чином, аеродинамічні властивості дробарки безпосередньо впливають на її продуктивність. Це видно з наведеної нижче формули витрати повітря:

$$Q_B = V_p F_p K_{зв}, \frac{m^3}{c}; \quad (5.68)$$

де  $V_p$  – швидкість повітряного потоку в отворах решета, м/с;  $F_p$  – площа живого перерізу решета,  $m^2$ ;  $K_{зв}$  – коефіцієнт звуження струменя в отворі.

Енергетичні показники характеризуються рівнянням балансу потужності

$$N = N_{изм} + N_{ц} + N_{х.х}, \text{Вт}; \quad (5.69)$$

де  $N_{изм}$  – потужність, що витрачається на руйнування матеріалу, Вт;

$N_{ц}$  – потужність, що витрачається на створення циркуляції матеріалу в дробильній камері, Вт;

$N_{х.х}$  – потужність, яка необхідна на холостий хід дробарки, Вт.

Потужність на подрібнення матеріалу можна визначити за заданою продуктивністю дробарки ( $g_p$ ) і величиною роботи подрібнення ( $A_{пдр}$ );  $V_m$  – колова швидкість молотків, м/с.:

$$N_{пдр} = gA = g_p [c_1 \lg \lambda^3 + c_2 (\lambda - 1)], \text{Вт}. \quad (5.70)$$

Розрахункова секундна продуктивність дробарки може бути визначена за формулою:

$$q_p = q' \cdot DL, \frac{кг}{c} \quad (5.71)$$

де  $q'$  – питоме навантаження дробарки ( $\frac{кг}{c \cdot m^2}$ ), що характеризує вихід готового продукту з  $1 m^2$  площі діаметрального перерізу камери.

Для зернових кормів  $q'$  беруть  $2,4-2,6 \frac{кг}{c \cdot m^2}$ , для січки –  $0,5-0,8 \frac{кг}{c \cdot m^2}$ .

Продуктивність дробарки для подрібнення зернових кормів можна визначити за емпіричною формулою:

$$q=(2-8) \cdot 10^{-5} \gamma D^2 \omega, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (5.72)$$

Потужність на циркуляцію матеріалу в камері і холостому ході беруть у межах 15...20 % від  $N_{\text{изм}}$ :

$$N = (1,15 \dots 2,0) N_{\text{изм}}, \text{ Вт}. \quad (5.73)$$

Порівняння проекрованої дробарки і загальну оцінку її конструкції проводять за техніко-економічними показниками.

Питома витрата енергії, чи питома енергоємність:

$$W = \frac{N}{g_p}, \text{ Дж/кг}. \quad (5.74)$$

Питома продуктивність:

$$\mathcal{E} = \frac{g_p}{N}, \text{ кг/Дж}. \quad (5.75)$$

Питома продуктивність при даному ступені подрібнення:

$$\mathcal{E}' = \frac{g_p \lambda}{N}, \text{ кг/Дж}. \quad (5.76)$$

Енергомісткість  $E_H$  процесу з урахуванням досягнутого ступеня подрібнення:

$$E_H = N_{\text{зм}} / Q \lambda, \text{ кВт*год/т}; \quad (5.77)$$

де  $Q$  – продуктивність, т/год;

$\lambda$  – ступінь подрібнення.

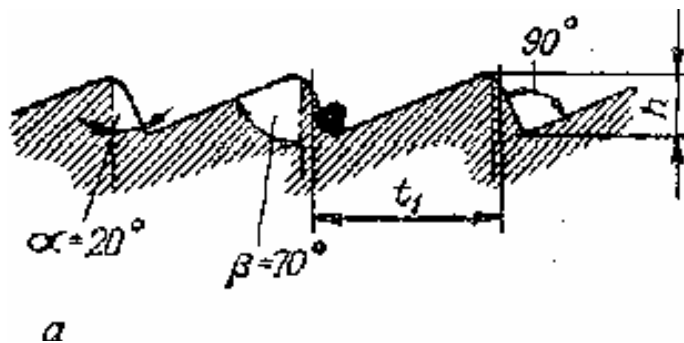
Загальна ефективність  $E$  роботи дробарки оцінюється величиною питомої продуктивності, яка характеризує кількість готового продукту, який отримують з одиниці встановленої потужності:

$$E = q / N_{\text{вст}}, \text{ кг/Дж}. \quad (5.78)$$

## 5.4 Вальцьові млини

### 5.4.1 Основи теорії вальцьових млинів

Основний робочий орган млинів – нарізні чи гладкі вальці, їх рифлі характеризуються формою, нахилом, числом на одиницю довжини кола вальця і кутом різання



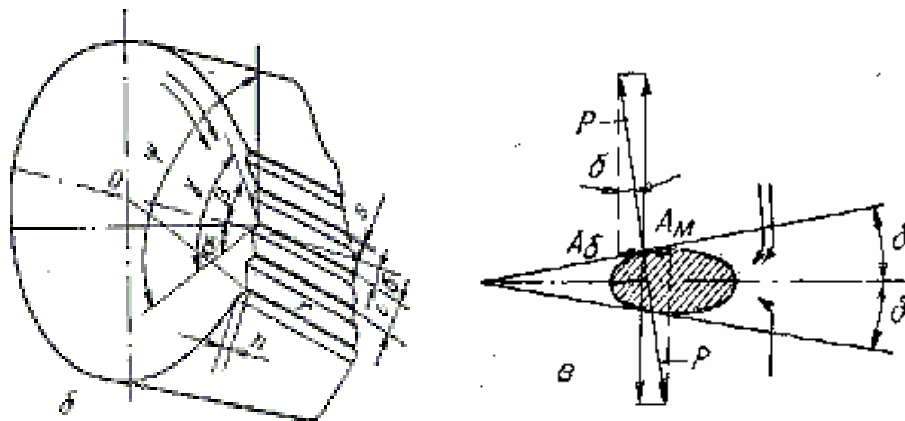


Рисунок 5.18 - Профіль (а), форма (б) і нахил (в) рифлів вальців:  $\Rightarrow$  – швидкообертового вальця;  $\rightarrow$  – повільнообертового

У поперечному перерізі рифлі мають дві нерівні грані: вузьку – грань вістря (рисунок 5.18, а) і широку – грань спинки. Кут  $\gamma$  (рисунок 5.18, б), розміщений між цими гранями, називається кутом загострення і за стандартом прийнятий  $90^\circ$ . Радіус, проведений через вершину рифлі, поділяє стандартний кут загострення на два кути:  $\alpha = 20^\circ$  – кут вістря і  $\beta = 70^\circ$  – кут спинки. Тупий кут  $\psi$ , розміщений між гранню рифлі і дотичної до циліндра, проведеної через вершину рифлі, умовно називають кутом різання. У залежності від обраного режиму роботи вальців кут різання буде різним ( $90 + \alpha$  або  $90 + \beta$ ).

На вершині рифлі є площадка шириною  $S = 0,15$  мм, яка необхідна для збереження точної форми циліндра після нарізання вальця. Крок  $t$  рифлів по колу і їхня висота  $h$  зв'язані співвідношенням  $h = t \sin 2\alpha/2$ . Число  $n_p$  рифлів на 1 см довжини кола складає  $n_p = 10/t$ . На вальцях для грубого помолу беруть  $n_p = 4 - 10$ , а на вимолочувальних вальцях  $n_p = 12-15$ .

Для усунення нерівномірності навантаження та вібрації вальців рифлі наносять під деяким кутом  $\delta$  нахилу до твірної циліндра; при зустрічі вони утворюють кут  $\chi$  защемлення. При цьому  $2\delta = \chi \leq 2\varphi$  ( $\varphi$  – кут тертя зерна об грань рифлі).

Для кінетики подрібнення важливе значення має взаємне розташування рифлів парнопрацюючих вальців. З чотирьох можливих варіантів на млинах у нашій країні прийнято встановлювати вальці з рифлями в положення «вістря по вістря» чи «спинка по спинці». У першому випадку має місце найбільш інтенсивний вплив рифлів на зерно (грубий помол), у другому – саме «м'яке». Типорозміри чавунних вальців регламентовані ГОСТом 6284–52.

Наука про зерно і про процеси його переробки створена піонером вітчизняного борошнарства – проф. П. А. Афанасьєвим (1883 р.) і розвинена професорами К.А. Зворикіним та П. А. Козьмінім.

Гладкі вальці однакових діаметрів обертаються з однаковою коловою швидкістю і піддають зерно деформації чистого стискання. Такі вальці застосовують у зерноплющилках. Нарізні вальці мають також однакові діаметри, але обертаються з різними швидкостями і піддають зерно складній деформації – стисканню та зсуву. При цьому у відносному русі рифлі парнопрацюючих вальців рухаються назустріч один одному, у результаті чого в робочому зазорі і відбувається руйнування зерна.

Відношення колової швидкості  $v_6$  швидкообертового вальця до швидкості  $v_m$  повільнообертового називається диференціалом швидкості і позначається через  $K$ . При цьому  $K = \frac{v_6}{v_m} \geq 1$ .

Для нарізних вальців беруть  $K = 1,5-2,5$ ; для гладких  $K = 1,25-1,5$ ; для вальців зерноплющилок  $K = 1$ .

Відносна швидкість  $v_0$ , що характеризує інтенсивність впливу робочих органів на матеріал, визначається за такими виразами:

$$v_0 = v_6 - v_m = v_6 \left[ 1 - \frac{1}{K} \right] \text{ або } v_0 = v_m (K - 1), \frac{m}{c}. \quad (5.79)$$

Середня швидкість  $v_3$  руху зерна в зоні подрібнення з достатньою точністю може бути визначена за формулами:

$$v = \frac{(v_6 - v_m)}{2}, \text{ або } v_3 = \frac{v_0 (K + 1)}{2(K - 1)}, \frac{m}{c}. \quad (5.80)$$

З формули (5.80) випливає, що швидкість просування матеріалу через зону подрібнення залежить від відносної швидкості нарізних вальців і диференціала швидкості.

Довжина шляху  $l$  обробки зерна в зоні подрібнення може бути знайдена з урахуванням такого. Якщо зерно розміром  $a$  (рисунок 5.19 а) торкнулося вальців у точках  $A$  та  $A_1$  і з цього моменту піддається впливу рифлів до проходу через робочий зазор  $\Delta$  на лінії центрів  $00_1$  то довжина шляху обробки буде дорівнювати довжині дуги  $\overset{\frown}{AB} = \overset{\frown}{A_1B_1}$ . Допускаючи невелику похибку, приймемо, що дуга  $AB$  дорівнює хорді, тобто  $\overset{\frown}{AB} \approx \overline{AB}$ . Тоді з подібності трикутників  $ABC$  і  $ABE$  випливає, що  $AB/BC = BE/AB$ ; звідси  $(AB)^2 = (BE)(BC)$ . Але  $BE \approx D$ ,  $BC = (a - \Delta)/2$ , отже  $(AB)^2 = D(a - \Delta)/2$ .

Остаточний вираз для довжини шляху обробки буде мати вигляд:

$$l = \sqrt{\frac{D(a - \Delta)}{2}}, \text{ м}; \quad (5.81)$$

де  $D$  – діаметр вальця;

$a$  – розмір зерна;

$\Delta$  – робочий зазор між вальцями.

В існуючих конструкціях вальців довжина  $l$  коливається від 3 до 20 мм, а величина зазору  $\Delta$  при обойному розмолі зерна – від 0,5 до 1,5 мм.

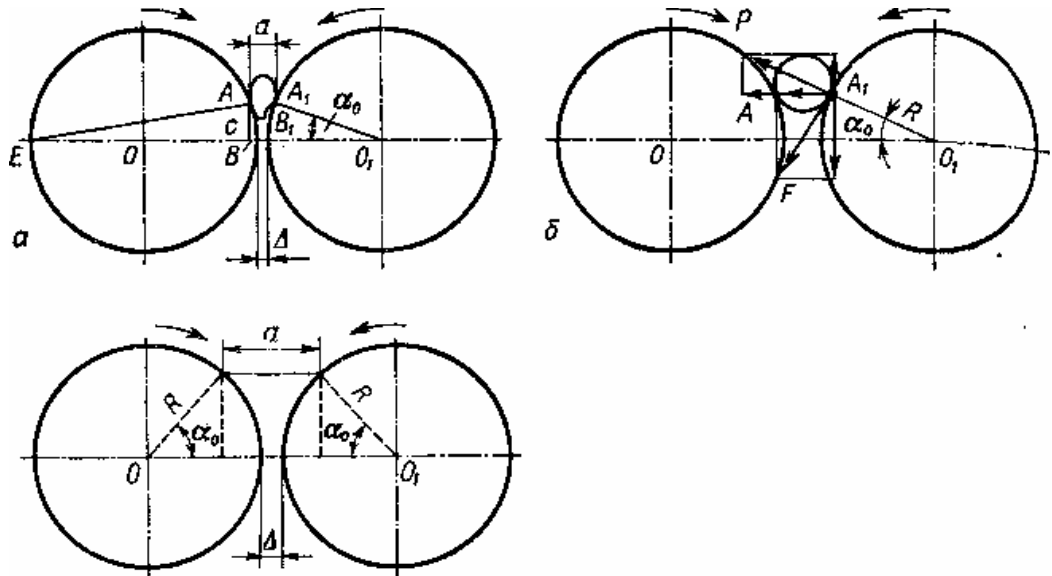


Рисунок 5.19 - До розрахунку конструктивних параметрів вальців

Знаючи довжину шляху обробки і середню швидкість проходження часток матеріалу, можна знайти час  $t$  їхнього перебування у зоні подрібнення:

$$t = \frac{l}{v_3} = \frac{2\sqrt{\frac{D(a-\Delta)}{2}}}{v_6 - v_m}, \text{ с.} \quad (5.82)$$

При прийнятих розмірах вальців (ГОСТ 6284–52) і режимах роботи час  $t$  виявляється дуже незначним і коливається в межах  $(3,7-4,2) \cdot 10^{-3}$  с. Це свідчить про те, що руйнування зерна вальцями носить ударний характер.

Окрім кінематичних параметрів режиму роботи вальців (швидкість, довжина шляху обробки), на процес подрібнення також впливає кількість дій рифлів швидкообертового вальця на матеріал під час його обробки.

Число  $z_d$  дій може бути визначене за формулою:

$$z_d = 100(v_6 - v_m) \tan p \quad (5.83)$$

де  $n_p$  – число рифлів на 1 см довжини кола вальця.

Якщо у формулу (5.83) підставити значення  $t$  з формули (5.82) і зробити деякі перетворення, то

$$Z_B = 1001 n_p \frac{K-1}{K+1} \quad (5.84)$$

З цієї формули випливає, що при постійних  $l$  і  $n$  число дій рифлів на матеріал залежить тільки від диференціала швидкості  $K$ .

#### 5.4.2 Будова і робота вальцьових млинів

На відміну від дробарок, млинами називають групу подрібнювачів, у яких рухомі і нерухомі поверхні робочих органів стикаються один із одним, утворивши через сировину твердий контакт. Вальцьові млини або станки застосовуються в господарствах поряд з молотковими дробарками для розмолу зерна в борошно. Системою машин передбачене застосування вальцьових млинів у потокових лініях кормоцехів і комбикормових заводів.

Вальцьові млини розрізняють: за числом пар вальців – з однією чи двома парами; за характерними розмірами – діаметром і довжиною вальців. У залежності від призначення застосовують вальці нарізні з рифленою, матовою (шорсткуватою) або гладкою (полірованою) поверхнею. Робочі органи – два циліндричних вальця однакового діаметра, що обертаються в протилежних напрямках назустріч один одному з різними чи однаковими ковчовими швидкостями. Винятки складають вальцедекові верстати, в яких замість другого вальця встановлено деку.

Найбільш поширеними є зернові вальцьові млини типу ЗМ, що випускаються в різних модифікаціях, що відрізняються діаметром і довжиною вальців. При виробництві пластівців з вологого консервованого або з основних фуражних культур (ячмінь, кукурудза, овес, пшениця, горох) використовують плющілки типу АП-Ф-5. У системі машин для тваринництва рекомендується використовувати млин марки ЗМ 25x80 із двома парами вальців  $\text{Ø}250$  і довжиною 800 мм. Зерновий млин (верстат) ЗМ (рисунок 5.20) складається зі станини, двох пар мелючих вальців, двох пар валиків живильного механізму, приводних і регулюючих механізмів, щіток ножів, що очищують вальці, автомата гідрокерування і сигналізації.

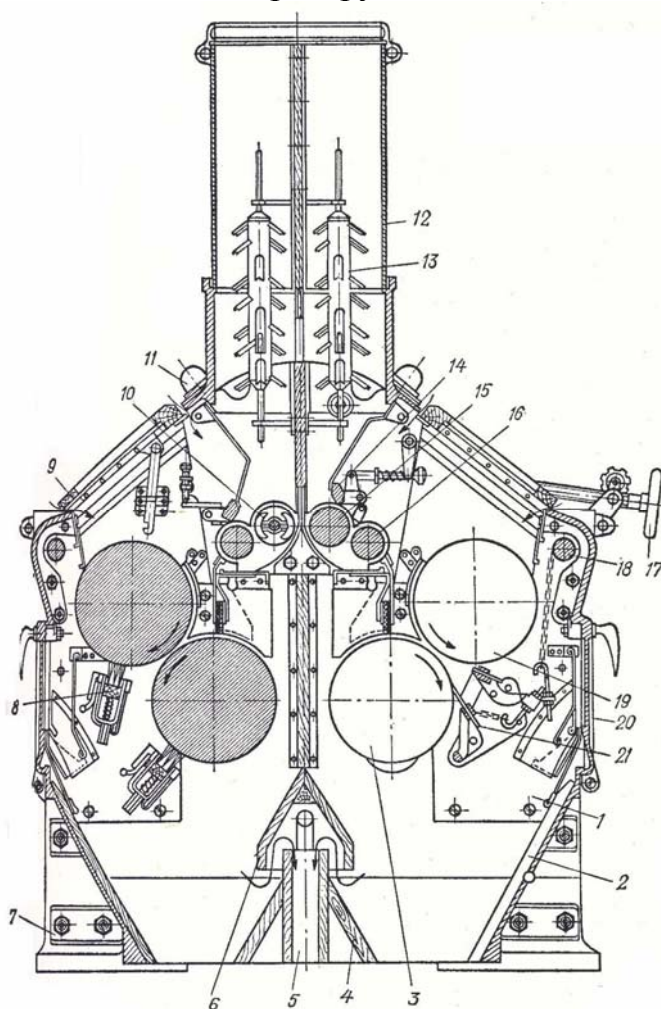


Рисунок 5.20 - Вальцьовий станок типу ЗМ

Дві боковини 1, з'єднані стяжками 7 із косинцями і похилими стінками 2, утворюють станину. Зверху станина прикрита кришкою, що має в середині циліндричний розтруб, у який вставлений скляний приймальний циліндр (бункер) 12. Похилі стінки станини мають дерев'яну обшивку, що захищає від конденсації



вологи при розмолі зерна підвищеної вологості. Для спостереження за роботою живильного механізму передбачено дверцята 9 і 20. У середній частині станини дерев'яні перегородки поділяють станок на дві самостійні частини. Продовженням перегородки служить двоххилий парасоль 6 аспіраційної шахти 5 і стінки 4 вихідного конуса.

У кожній половині верстата розташовано по парі мелючих вальців: нижній 3 – повільнообертовий і верхній 19 – швидкообертовий. Вал нижнього вальця встановлений у рухливих підшипниках, що дозволяє за допомогою штурвала 17 і привально-відвального вала 18 змінювати зазор між мелючими вальцями.

Для очищення нарізних вальців станки забезпечують самопідтискними щітками 8, а для очищення гладких вальців – ножами 21.

Кожен швидкообертовий валець 19 приводиться в роботу від свого електродвигуна потужністю 10 кВт через плоскопасову передачу. Валець 3 передаються оберти від вальця 19 через пару шестерень з косими зубцями.

Живильний механізм складається з двох валиків: дозуючого 15 зі шнеком 10 і розподільного 16. Подачу (живлення) регулюють переміщенням секторної заслінки 14. Заслінку встановлюють вручну на подачу зерна тонким шаром (товщиною в 1–2 зерна), а в роботі вона відкривається і закривається автоматично. На зміну подачі реагує датчик 13 (поплавець), який пневматично зв'язаний з механізмом гідравлічного керування. Про порушення режиму сигналізує червона лампа 11.

Мелючі вальці виготовлені з загартованого чавуну, в які запресовані (з торців) сталеві півосі.

Вальцьовий станок 3М має гідроавтомат, тобто систему автоматичного керування, що здійснює відвал мелючих вальців, закриття заслінки і зупинку живильних валиків. Ці операції здійснюються одночасно, як тільки припиняється надходження зерна в бункер 12 живильного механізму.

Таблиця 5.5 - Технічна характеристика вальцьових млинів

Показники	3М 25x100	3М 25x80	3М 25x60	3М 30x60	ВМП
Розміри вальців Dхz, мм	250x1000	250x800	250x600	300x600	185x400
Продуктивність однієї пари вальців на об'ємному помолі, кг/год	2500	2000	1500	1500	1650
Гранично припустима потужність на одну пару вальців, кВт	18	14	10	10	10
Частота обертання швидкообертового вальця, об/хв.:					
нарізного	430	430	430	380	960
гладкого	350	350	350	320	-
Витрата повітря на аспірацію, м <sup>3</sup> /с	0,17	0,17	0,3	0,13	-

Маса, кг	3450	2950	2600	3050	1000
----------	------	------	------	------	------

### 5.4.3 Розрахунок конструктивних параметрів і техніко-економічних показників вальцьових млинів

Розглянемо умови роботи двох горизонтально розташованих гладких вальців з однаковими діаметрами й коловими швидкостями і визначимо кут  $\alpha_0$  (рисунок 5.19 б) захвату зерна вальцями. Точки контакту А і А<sub>1</sub> частки з поверхнею вальців відповідають моменту початку процесу подрібнення. У цей момент частка давить на кожен валець із силою Р; отже, з тією ж силою, але спрямованою в протилежну сторону, валець впливає на частку.

Для цих умов визначимо максимально припустимий кут  $\alpha_0$  захоплення частки вальцями. Складемо рівняння рівноваги сил, відносно однієї точки А<sub>1</sub> дотику, тому що в силу симетричності розмірів у точці А будуть діяти ті ж сили. Крім сили Р, у точці А<sub>1</sub> діє сила тертя  $F = fP$  (де f – коефіцієнт тертя).

Проектуючи ці сили на вертикальну вісь, можемо записати рівняння рівноваги:

$$2P \sin \alpha_0 = 2fP \cos \alpha_0 = 0 . \quad (5.85)$$

Вертикальна складова  $P \cdot \sin \alpha_0$  прагне виштовхнути частку з зазору, але складова сили тертя  $f \cdot \cos \alpha_0$  зтягує частку в зону подрібнення. Щоб частка була зтягнута в зазор, необхідно виконати умову  $2P \cdot \sin \alpha_0 < 2fP \cdot \cos \alpha_0$ . Звідси  $\sin \alpha_0 / \cos \alpha_0 < f$ , або  $\operatorname{tg} \alpha_0 < 3 \operatorname{tg} \varphi$ , де  $\varphi$  – кут тертя частки об поверхню вальця.

Отже, кут захоплення  $\alpha_0$  повинен бути меншим від кута тертя  $\varphi$ , а максимально припустимий  $\alpha_{0 \max}$  дорівнює куту тертя.

Для вальців із гладкими (полірованими) поверхнями кут тертя зерна  $\varphi = 12^\circ$ , з матовими (шорсткуватими) поверхнями  $\varphi = 15^\circ$ .

Залежність між розмірами часток а матеріалу, діаметром D вальців і кутом тертя може бути визначена у такий спосіб.

Зі схеми (рис. 5.19, в) видно, що міжцентрова відстань  $00_1$  дорівнює:  $00_1 = D + \Delta = 2R \cdot \cos \alpha_0 + a$ .

Звідси:

$$D(1 - \cos \alpha_0) = a - \Delta , \text{ м};$$

де а – розмір частки при вході;

$\Delta$  – величина робочого зазору.

Мінімальний діаметр вальця визначається за формулою  $D_{\min} = \frac{a - \Delta}{1 - \cos \alpha_0}$ .

Але тому, що граничне значення кута  $\alpha_0$  дорівнює куту  $\varphi$  тертя, то остаточно будемо мати:

$$D_{\min} = \frac{(a - \Delta)}{1 - \cos \varphi} . \quad (5.86)$$

В існуючих конструкціях млинів діаметр D вальців беруть у межах 250–350 мм, а в зерноплющилках  $D = 150$ – $200$  мм.

Теоретична продуктивність однієї пари вальців визначається з урахуванням того, що через робочий зазор в одиницю часу проходить кількість зерна, яка

дорівнює секундній продуктивності. При цьому продуктивність  $Q$  (кг/с) млина визначиться за формулою:

$$Q = \Delta L v_3 \rho \varphi, \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad (5.87)$$

де  $\Delta$  – середня величина зазору в зоні подрібнення, м;

$L$  – довжина вальців, м;

$v_3$  – середня швидкість зерна в зоні подрібнення, м/с;

$\rho$  – щільність матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення матеріалом зони подрібнення (при розмолі зерна  $\varphi = 0,1-0,2$ ).

## 6 Машини та обладнання для подрібнення стеблових кормів

### 6.1 Теоретичні основи подрібнення стеблових кормів

Теорію різання розроблено академіком В.П. Горячкиним, а потім доповнено академіком Желіговським В.А., професором Резником Н.Є. та іншими вченими. У їхніх працях було проведено експерименти щодо визначення фізико-механічних властивостей матеріалів, що подрібнювались, визначено вплив різних конструктивних параметрів соломосилосорізок на енергоємність різання.

Різання розглядається як проникнення двогранного клина (леза ножа) в матеріал (рисунок 6.1).

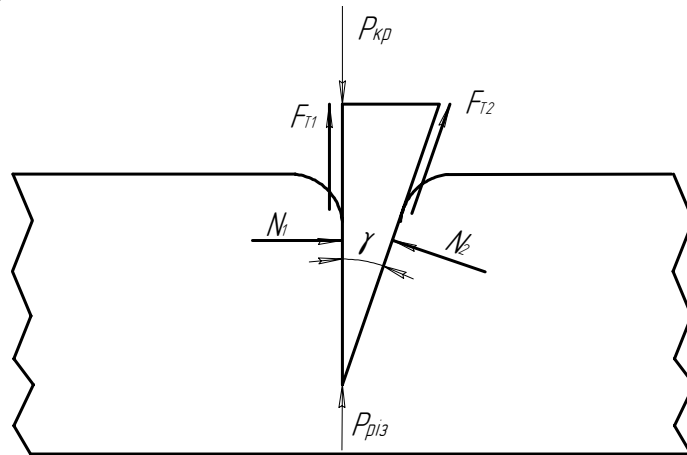


Рисунок 6.1 – Схема входження лека в матеріал:  $P_{різ}$  – сила різання;  $N_1$  і  $N_2$  – сили нормального тиску матеріалу на грані лека;  $F_{Т1}$  і  $F_{Т2}$  – сили тертя матеріалу об грані лека;  $P_{кр}$  – критична сила, при якій можливе різання,  $\gamma$  – кут між гранями клина (кут заточки)

При цьому руйнування проходить за рахунок тиску, який створюється вершиною цього клина під дією сили  $P_{різ}$ . Під час руху клина матеріал деформується і виникає опір. Для подолання цих сил до клина необхідно прикласти силу  $P_{кр}$ .

$$P_{кр} = P_{різ} + F_{Т1} + F_{Т2} \cdot \cos \gamma + N_2 \cdot \sin \gamma, \text{ Н}, \quad (6.1)$$

Сила різання залежить від механічних властивостей матеріалу і гостроти лека.

$$P_{різ} = \delta \cdot \Delta L \cdot G_p, \text{ Н}, \quad (6.2)$$

де  $\Delta L$  – довжина лека, що безпосередньо входить у матеріал, м;

$\delta$  – гострота лека ножа, м;

$G_p$  – тиск, при якому матеріал руйнується, Н/м<sup>2</sup>.

Сила тертя залежить від нормального тиску матеріалу на грані:

$$F_T = N \cdot f = N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ Н}, \quad (6.3)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу об лезо;

$\varphi$  – кут тертя матеріалу по лезу, град.

Сила нормального тиску  $N$  за законом Гука залежить від деформації матеріалу гранню клина:

$$N = k \cdot h, \text{ Н}, \quad (6.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору матеріалу, Н/м;

$h$  – величина деформації, м.

Величина деформації  $h_1$  залежить від властивостей і швидкості подачі матеріалу через горловину, а  $h_2$  – від властивостей матеріалу, довжини різки і кута заточки ножа:

$$h_2 = x \cdot \sin \gamma, \text{ м}, \quad (6.5)$$

де  $x$  – переміщення ножа, м.

З урахуванням формули (6.13) і після перетворень формула (6.1) буде мати вигляд:

$$P_{кр} = P_{різ} + N_1 \cdot f + \frac{N_2}{\cos \varphi} \cdot \sin(\varphi + \gamma), \text{ Н}. \quad (6.6)$$

Аналізуючи формулу (6.16) з урахуванням формул (6.14, 6.5) можна зауважити, що величина критичної сили залежить також від кута заточки леза ножа  $\gamma$ . При збільшенні  $\gamma$  збільшується і сила опору на входження ножа в матеріал.

Розрізняють три загальних випадки різання лезом, залежно від кута  $\tau$  між векторами нормальної сили і переміщення ножа (між перпендикуляром до леза і напрямком переміщення ножа).

1-й випадок (рисунок 6.2.а) – нормальне різання, або рубка, кут  $\tau = 0$ .

2-й випадок (рисунок 6.2 б) – похиле різання, кут  $0 < \tau \leq \varphi$ .

3-й випадок (рисунок 6.2 в) – ковзальне різання, коли кут  $\tau > \varphi$ .

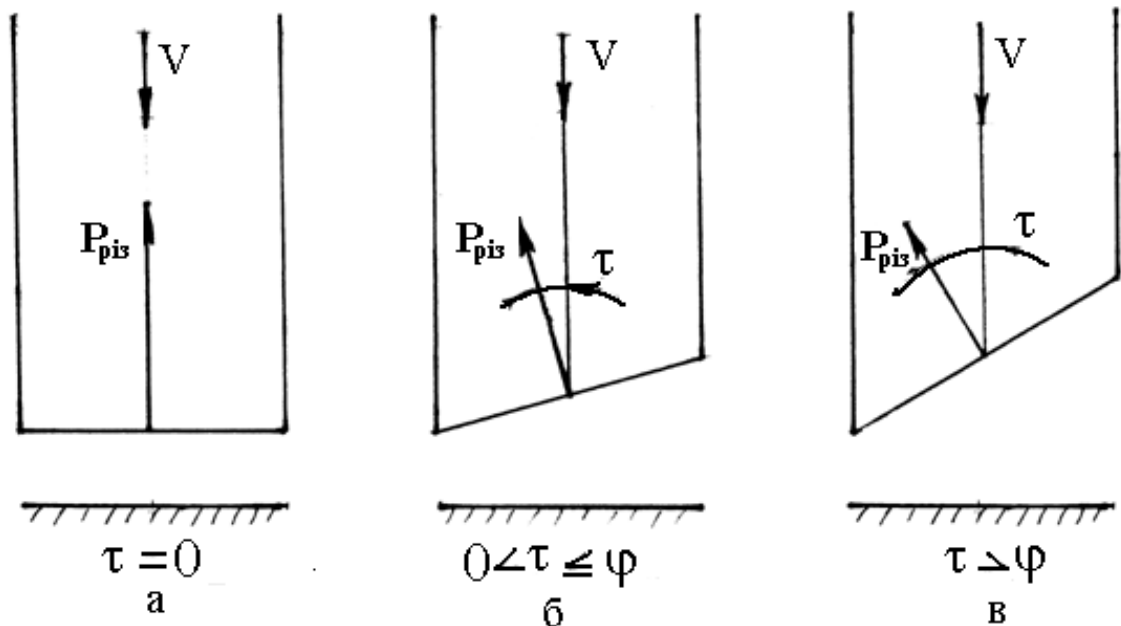


Рисунок 6.2 – Випадки різання в залежності від кута  $\tau$ : а – нормальне різання; б – різання під кутом; в – ковзальне різання

При нормальному різанні (рисунок 6.3 а) величина критичної сили визначається за формулою (6.16).

При різанні під кутом (рисунок 6.3 б) проходить “трансформація” кута заточки ножа:

$$\text{tg } \gamma' = \text{tg } \gamma \cdot \cos \tau, \quad (6.7)$$

де  $\tau$  – кут установки ножа, град.

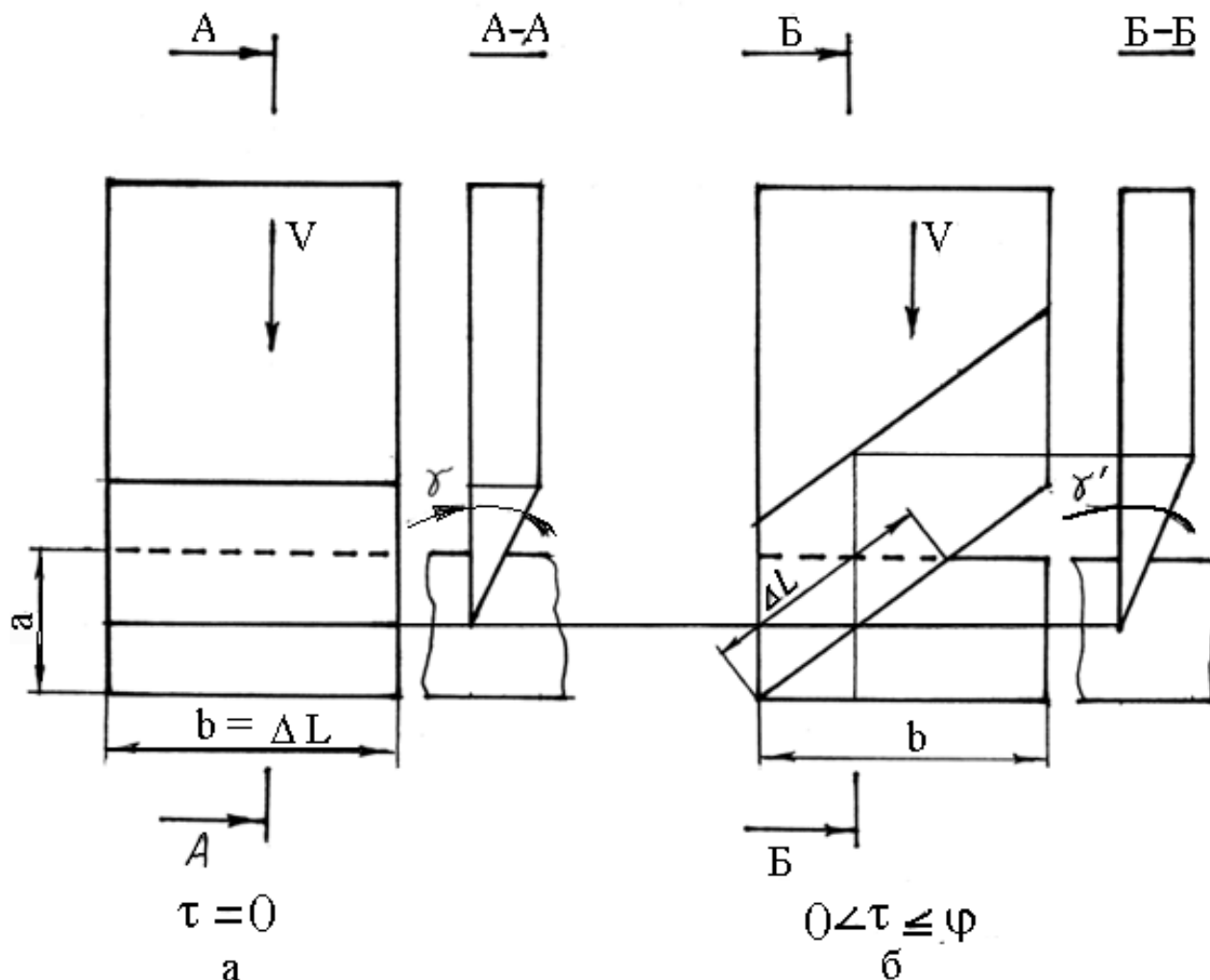


Рисунок 6.3 – Схеми різання матеріалу ножом: а – пряме різання; б – різання під кутом

Професор Резнік Н.Є. назвав це явище кінематичною трансформацією кута заточки і визначення цього кута запропонував робити за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}, \quad (6.8)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт ковзання.

$$\varepsilon = \operatorname{tg} \tau. \quad (6.9)$$

Ця формула тотожна формулі (6.18).

У цьому випадку величину критичної сили визначають за такою формулою:

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{різ}} + N_1 \cdot f + \frac{N_2}{\cos \varphi} \cdot \sin(\varphi + \gamma'), \text{ Н.} \quad (6.10)$$

При цьому необхідно враховувати те, що змінюється величина деформації  $h_2$  (формула (6.14)), а також величина сили  $P_{\text{різ}}$  (рисунок 6.4) і довжина леза ножа, яка бере участь в різанні (рисунок 6.3 б):

$$\Delta L = \frac{a}{\sin \tau}, \text{ м.} \quad (6.11)$$

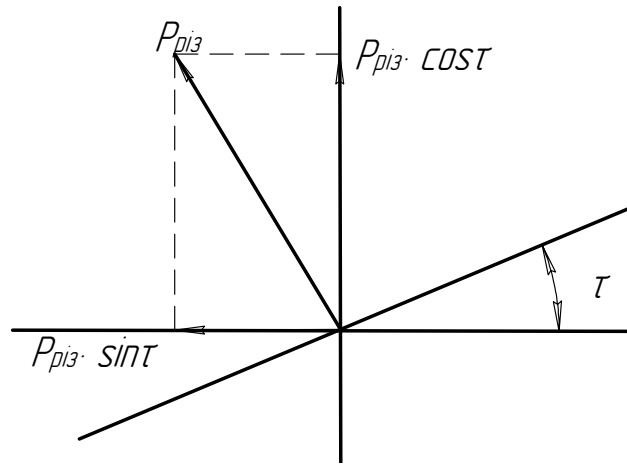


Рисунок 6.4 – Схема дії сили різання

Загальна формула для розрахунків критичної сили при різанні під кутом буде мати вигляд:

$$P_{кр} = P_{різ} \cdot \cos \tau + N_1 \cdot f + \frac{N_2}{\cos \varphi} \cdot \sin(\varphi + \gamma'), \text{ Н}, \quad (6.12)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$P_{кр} = \frac{\delta \cdot a \cdot G_p}{\text{tg} \tau} + N_1 \cdot f + \frac{k \cdot x \cdot \sin \gamma'}{\cos \varphi} \cdot \sin(\varphi + \gamma'), \text{ Н}. \quad (6.13)$$

Аналізуючи формули (6.12, 6.13), можна визначити, що при різанні під кутом зменшуються діюча складова сили різання і сила нормального тиску  $N_2$ .

При цьому слід зауважити, що робота, яка виконується під дією сили  $P_{різ}$ , не залежить від кута установки ножа:

$$A = P_{різ} \cdot x, \text{ Дж}, \quad (6.14)$$

де  $x$  – шлях, який проходить ніж при перерізанні матеріалу.

При різанні під кутом зменшується сила різання (6.12, 6.14), але збільшується шлях  $X$ , який проходить ніж.

Ковзальне різання відбувається в тому випадку, коли виникає відносний рух ножа і матеріалу у двох взаємно перпендикулярних напрямках  $V_x$  і  $V_y$  (рисунок 6.5).

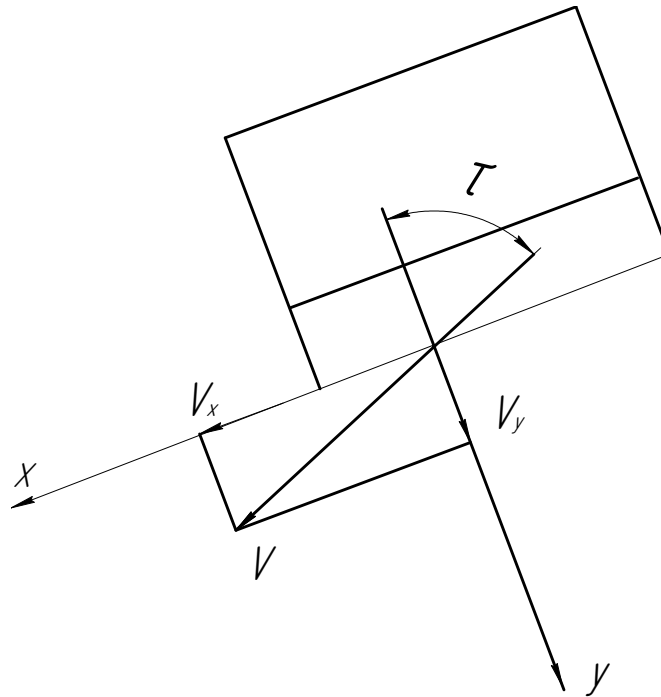


Рисунок 6.5 – Схема ковзального різання

Цей процес може виникнути природно, коли  $\tau > \phi$  і матеріал під тиском ножа виковзує з-під нього, або примусово – за допомогою бокової сили. При цьому кут  $\tau$  визначається за допомогою формули:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{V_x}{V_y} = \varepsilon. \quad (6.15)$$

Ще академік Горячкін В.П. встановив, що в процесі різання з ковзанням значно знижується опір різанню. Це пояснюється як кінематичною трансформацією кута заточки ножа (6.17), так і тим, що при боковому переміщенні ножа мікровиступи на лезі захоплюють матеріал, у результаті чого виникають деформації зсуву і розтягування, які значно менші, ніж деформації стискання при нормальному різанні.

Робочий орган соломосилосорізки складається з ножів і протирізальної пластини. У ній використовується другий спосіб різання – різання під кутом. Це пов'язано з тим, що при нормальному різанні виникають значні і нерівномірні навантаження на робочий орган, а при ковзальному різанні складно організувати технологічний процес машини.

Розглянемо умови, за яких буде забезпечено защемлення матеріалу між ножем і протирізальною пластиною (рисунок 6.6).



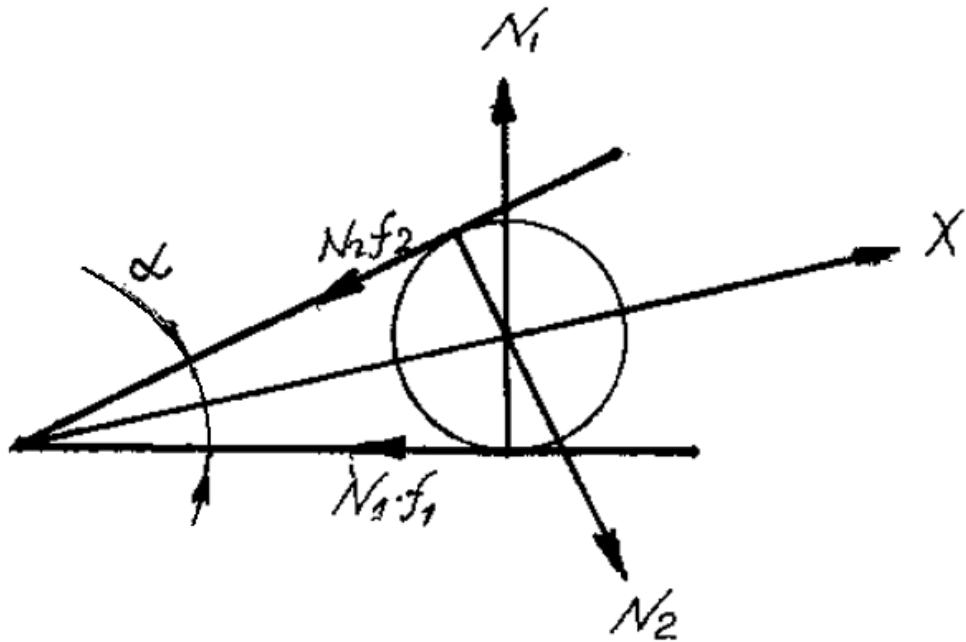


Рисунок 6.6 –Схема сил, які діють на матеріал у момент початку защемлення.

Умовою защемлення буде:

$$N_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + N_2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \leq N_1 \cdot f_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + N_2 \cdot f_2 \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (6.16)$$

Проводимо перетворення виразу:

$$(N_1 + N_2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq N_1 \cdot f_1 + N_2 \cdot f_2.$$

Отримали загальну формулу для визначення кута защемлення:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq \frac{N_1 \cdot f_1 + N_2 \cdot f_2}{N_1 + N_2}. \quad (6.17)$$

У тому випадку, коли коефіцієнти тертя матеріалу об ніж і протирізальну пластину однакові, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq f = \operatorname{tg} \varphi. \quad (6.18)$$

Тому защемлення буде гарантовано за такої умови:

$$\alpha \leq 2\varphi_{\min} \quad (6.19)$$

де \$\varphi\_{\min}\$ – мінімальний кут тертя матеріалів об лезо, град.

Експериментально встановлено, що на дискових соломосилосорізках \$\alpha = 40...50^\circ\$, а барабанних – \$24...30^\circ\$.

## 6.2 Машини для подрібнення стеблових кормів

### 6.2.1 Типи робочих органів соломосилосорізок

Професор Різник Н.Є. виділив шість типів робочих органів, які виконують процес різання: пласко-обертальні, циліндрично-обертальні, обернено-поступальні, криволінійно-коливальні, пласко-коливальні і пласко-поступальні.

Для соломосилосорізок найбільш прийнятні перші два: пласко-обертальні (дискові) і циліндрично-обертальні (барабанні).

Дискові робочі органи мають ножі, які закріплені таким чином, що при обертанні їх леза рухаються в площині кола. У барабанних робочих органах леза ножів описують циліндричну поверхню.

При виборі типу робочого органу при проектуванні подрібнювача стеблових кормів необхідно враховувати такі основні вимоги:

- мінімальні витрати енергії;
- мінімальна металоємність;
- рівномірність навантаження на вал машини протягом усього циклу роботи;
- надійне защемлення стебел між ножем і протирізальною пластиною.

Порівняння характеристик дискових і барабанних подрібнювачів показує, що барабанні за всіма вимогами мають перевагу, за винятком того випадку, коли подрібнену масу необхідно подавати на значну відстань. Для цього на диск встановлюють лопаті, а кожух подрібнювача формують як корпус вентилятора-кидалки.

Особливості конструкції барабанного робочого органу. Барабанний ріжучий апарат відповідає основним вимогам до подрібнювачів (рисунок 6.7).

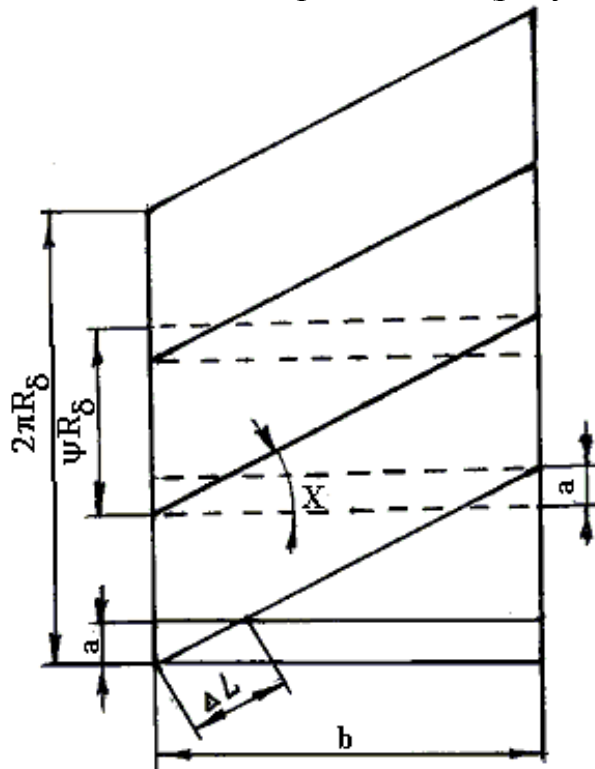


Рисунок 6.7 – Розгортка ножового барабана

Для забезпечення надійності защемлення стебел між ножами і протирізальною пластиною ножі виготовляють криволінійної форми з постійним кутом защемлення  $X < 2\varphi_{\min}$ , який не змінюється при проходженні всього леза через матеріал. Така форма ножів ускладнює їх виготовлення, але дозволяє також проводити заточку лез безпосередньо на машині без знімання ножів за допомогою заточних пристроїв, а також проводити регулювання зазора між ножами і протирізальною пластиною одночасно для всіх ножів переміщенням барабана або протирізальної пластини.

Постійний кут  $\tau$  забезпечує постійну кінематичну трансформацію кута заточки  $\gamma'$ . Оскільки ножі розміщені по гвинтовій лінії, то їх перекриття а і кут  $\gamma'$  забезпечують рівномірність навантаження на вал барабана і мінімальні витрати енергії на подрібнення. Довжина барабана обмежується шириною горловини для подачі матеріалу з урахуванням розходження в сторони стебел при виході з горловини.

Особливості конструкції дискового робочого органу. На дисковому робочому органі можуть встановлюватись ножі з криволінійним або з прямим лезом. Криволінійність леза забезпечує постійність кута  $X < 2\varphi_{\min}$ , як і в барабанних подрібнювачах. Проте практика експлуатації такої конструкції показала, що налагодження такого ріжучого апарату досить складне і забирає багато часу (заточка і регулювання зазорів між ножами і протирізальною пластиною). Тому промисловість виготовляє ріжучі апарати з прямим лезом.

Розглянемо особливості різання прямим лезом (рисунок 6.8).

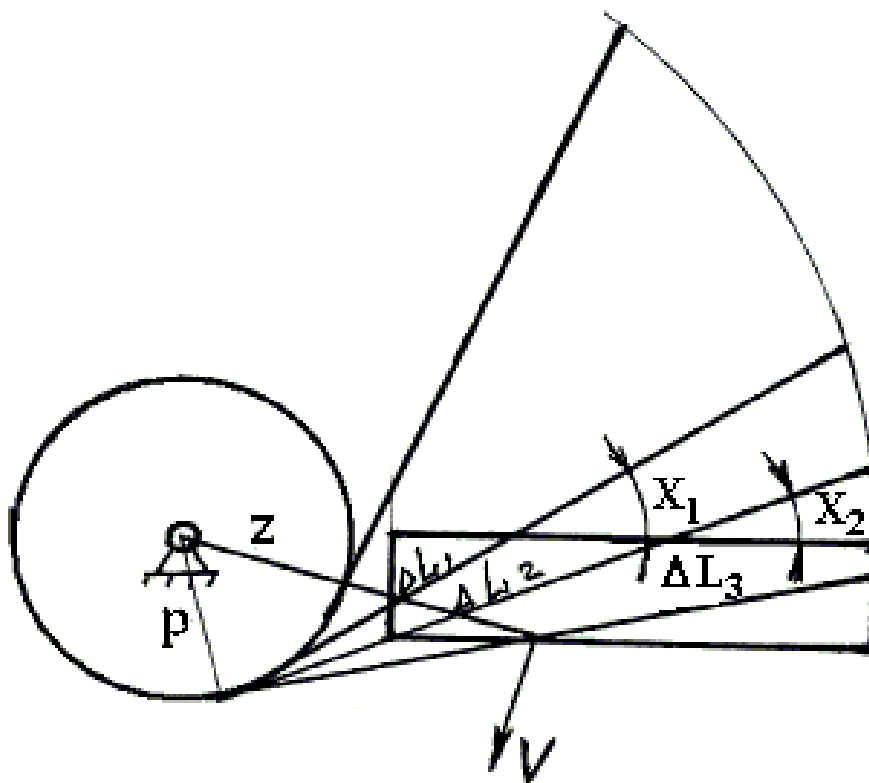


Рисунок 6.8 – Схема роботи дискового апарата з прямим лезом

Лезо ножа розміщується з “вильотом” Р для того, щоб забезпечити необхідний кут  $\alpha$ .

Під час проходження леза по матеріалу величина кута  $X$  змінюється від  $X_{\max}$  до  $X_{\min}$ . Враховуючи також те, що активна довжина леза  $\Delta S$  також змінюється, а середній радіус прикладання сили опору матеріалу збільшується, то при перерізання матеріалу ножом навантаження на вал робочого органу також змінюється. Після проходження ножа через матеріал навантаження на нього зникає до підходу наступного ножа. Таким чином, не виконується одна з основних вимог щодо рівномірності навантаження, що призводить до жорсткої роботи ріжучого апарату. Витрати енергії також зростають.

Як видно зі схеми на рисунку 6.8, геометричні параметри подрібнювача також значні у порівнянні з барабанним.

### 6.2.2 Подрібнювачі стеблових кормів

Подрібнювач грубих кормів ІГК-Ф-4-1 (рисунок 4.9) призначений для переробки соломи, сіна та інших грубих кормів (вологість не більше 35%) з одночасним завантаженням подрібненої маси у транспорті засоби або місткості для накопичення.

Випускається в навісному і стаціонарному виконанні. Робочий орган машини виконаний у вигляді ротора-диска з закріпленими на ньому трьома поясами клиновидних штифтів. Протиріжуча частина подрібнювального пристрою – дека. Вона нерухома і несе на собі два ряди штифтів, розташованих концентрично, і вони входять у проміжки між поясами штифтів ротора.

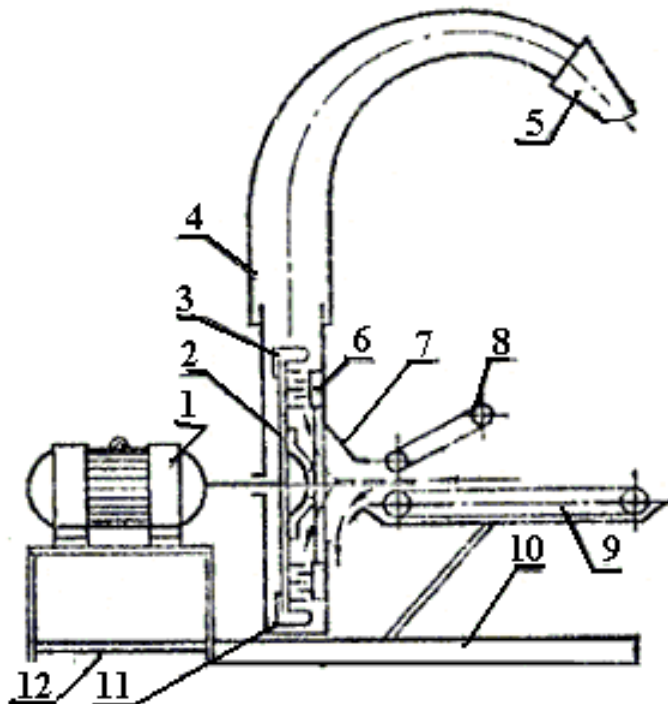


Рисунок 6.9 – Подрібнювач ІГК-Ф-4-1: 1 – електродвигун, 2 – ротор, 3 – лопатка, 4 – дефлектор, 5 – козирок, 6 – дека, 7 – приймальна камера, 8 – притискний транспортер, 9 – транспортер, що подає, 10 – рама, 11 – кожух, 12 – рама електродвигуна

Солома, що підлягає подрібненню, подається горизонтальним транспортером 9, розрівнюється й ущільнюється підпресовуючим плаваючим транспортером 8. Продукт входить у приймальну камеру, обладнану в нижній частині вікном, у який викидає випадкові металеві включення і камені. Далі солома проходить у дробильну камеру і лопатями ротора подається до периферії диска, в зону подрібнення, де штифти розщеплюють і розривають стебла. Подрібнений продукт лопатями 3 викидається через дефлектор.

При подрібнюванні сухої соломи продуктивність машини найбільша. Якщо солома має вологість більше 18%, її подачу зменшують, а при вологості більше 20% – знижують швидкість транспортера постановкою на первинний вал редуктора зірочки з зубами, а на проміжний вал – зірочки з 20 зубами. Зі

збільшенням вологості соломи від 14 до 35 % витрата енергії зростає, а продуктивність машини знижується більш ніж у 1,5 рази.

У комплект подрібнювача входять 25 лопаток, що встановлюють на штифти ротора при подрібнюванні вологого корму. Стрижні штифтів повинні виходити за верхні грані гайок не менше ніж на один виток різьблення (при цьому обов'язкова наявність пружних шайб). Лопатки ставлять так, щоб по обидва боки кожної лопатки розташовувалося 19 штифтів по зовнішньому ряду і 9 – по внутрішньому.

При перевантаженні електродвигуна (понад 55 А за показанням амперметра-індикатора) вимикають живильник, до вирівнювання навантаження.

При експлуатації машини необхідно стежити за станом кріплень подрібнюючих штифтів, балансуванням ротора, натягом ланцюгів, не допускати нагрівання підшипників, проводити своєчасне змащування деталей і складальних одиниць.

Соломорізка РСС-6Б (рисунок 6.10) призначена для подрібнення соломи, сіна і силосу різної вологості. Вона випускається в двох варіантах: з приводом від електродвигуна і з приводом від ВВП трактора класу 14 кН.

Живильник складається з горизонтального і похилого (ущільнюючого) транспортерів, а також двох вальців для подальшого стискання стебел після похилого транспортера.

У робочому органі соломосилосорізки, який виконано у вигляді ротора-диска, встановлено ножі під кутом до радіуса диска, що забезпечує надійність защемлення стебел у ріжучій парі.

Робочий процес проходить таким чином: корм подається на горизонтальний транспортер, вирівнюється і ущільнюється похилим транспортером, потім ущільнюється вальцями і подається через вікно на подрібнення ножем і протиризальною пластиною. Відрізані частки лопатями (три штуки викидаються через трубопровід і дефлектор).

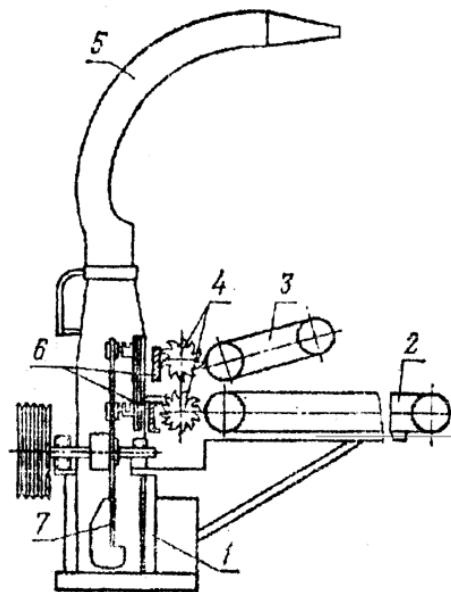


Рисунок 6.10 – Схема соломорізки РСС-6Б: 1-рама; 2-транспортер; 3-підпресовуючий транспортер; 4-вальці; 5-дефлектор; 6-протиризальна пластина; 7-диск з ножами і лопатками

Довжину різки регулюють установкою на диску двох, трьох або шести ножів, а також заміною пар шестерен з різною кількістю зубів на приводі живильника (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 - Довжина різки в залежності від пар шестерен і кількості ножів

Довжина різки, мм	Кількість зубів на змінних шестернях при кількості ножів на диску		
	2	3	6
до 10	-	-	17/53
10... 15	-	17/53	23/47
20... 40	23/47	23/47	-
	35/35	35/35	-
30...60	-	47/23	-
до 120	47/23	-	-

Регулювання зазору між ножами і протирізальною пластиною проводиться переміщенням ножів, які закріплені на диску болтами з прокладками. Для силосних культур максимальний зазор може бути до 2,5 мм, а грубих кормів – до 1 мм.

Подрібнювач кормів “Волгар–5” (рисунок 6.11) використовують для подрібнення зелених кормів, силосу, коренебульбоплодів, баштанних культур, сіна, соломи, а також риби як в потокових лініях кормоцехів, так і самостійно.

Подрібнювач складається з рами, живильника, барабанного подрібнювача, шнека, багатодискового різального апарата, заточного пристрою, механізму привода; електрообладнання.

Корпус зварений із листової сталі і прокатного профілю. Зверху корпусу на петлях кріпиться із заточувальним пристроєм, вона відкриває доступ до ножового барабана, внизу, з лівого боку, – кришка апарата вторинного подрібнювання. Спереду до корпусу монтують живильник.

Горизонтальний завантажувальний і похилий натискний транспортери – планчастого типу. Їхня конструкція аналогічна: рама, ведучий і ведений вали із зірочками, на які одягнуто два паралельні ланцюги з прикріпленими металевими пластинами, які утворюють суцільне полотно. Натискний в плаваючому положенні розміщений між боковинами корпусу, зверху закривається кришкою.

Барабанный різальний апарат здійснює попереднє подрібнювання кормів. Він складається з вала і дисків, на яких закріплені спіралеподібні ножі. Протирізальна пластина встановлена на корпусі нижче верхньої гілки полотна завантажувального транспортера. Зазор між лезами ножів барабана і протирізальної пластини (0,5-1 мм) регулюють переміщенням барабана разом із опорами. Під барабаном є проміжний шнек, який транспортує корм до апарата другого ступеня подрібнювання.

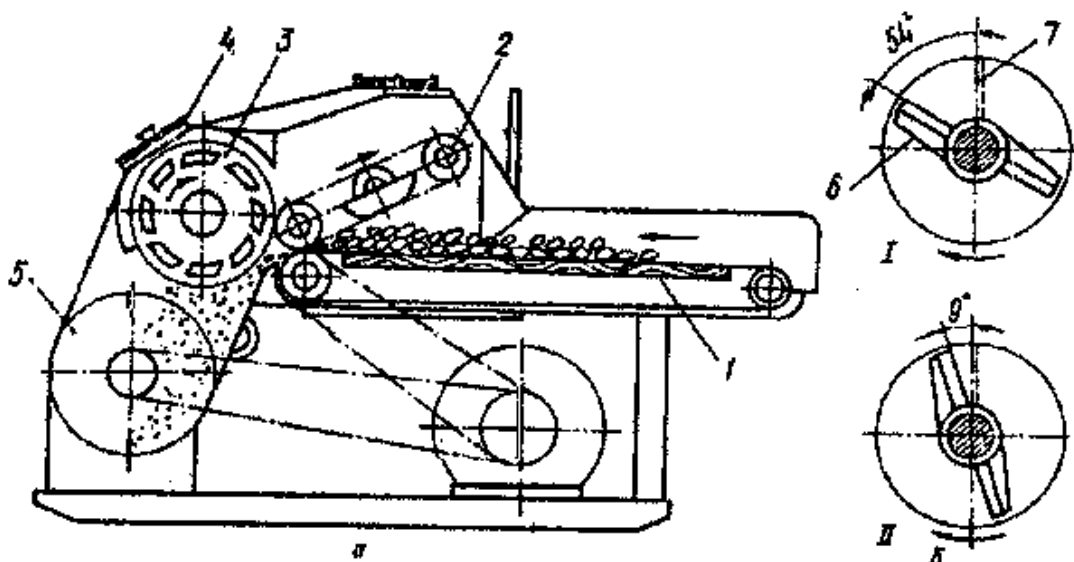


Рисунок 6.11 – Конструктивно-функціональна схема (а) і схема регулювання величини продукту (б) подрібнювача “Волгар-5”: 1-завантажувальний транспортер; 2-натискний транспортер; 3-подрібнювальний апарат першого ступеня; 4-заточувальний пристрій; 5-подрібнювальний апарат другого ступеня; 6-ніж; 7-кінцевий виток шнека, I і II-положення першого ножа при подрібнюванні кормів для свиней і птиці відповідно.

Останній має дев'ять дискових спірально розміщених (через кожні  $54^{\circ}$  або через 6 шліців проти напрямку обертання) ножів, які проходять між нерухомими ножами, змонтованими в планках корпусу. Зазор між рухомими і нерухомими ножами (повинен бути не більше 0,5-0,7 мм) регулюють переміщенням блока нерухомих ножів у спеціальній пристрої.

Для заточування ножів обох апаратів, а також протирізальних елементів використовують заточний пристрій, який встановлено на кришці барабана.

Привід робочих органів подрібнювача здійснюється від загального електродвигуна: через клинопасові передачі на різальний барабан, шнек і апарат другого ступеня подрібнювання, з вала барабана ланцюговою передачею – на редуктор, а потім ланцюговими передачами – на горизонтальний і похилий транспортери. Шафу керування встановлюють на стіні приміщення, а безпосередньо на машині – клемну коробку і кнопковий вмикач.

Подрібнювач оснащений автоматом вимикання приводу, який встановлений на нижній кришці корпусу апарата другого ступеня подрібнювання. Автомат складається з двох фланців, штуцера, у якому змонтовано замок, і кінцевого вимикача. Замок має повідок з пружиною, яка зафіксована з одного боку шайбою і шплінтом, а також палець із зубом.

Робочий процес подрібнення виконується таким чином. Масу для подрібнювання подають на живильний транспортер, яким вона надходить на транспортер, що пресує, і далі до ріжучого барабану першого ступеня різання. Після попереднього подрібнювання корму до розмірів 20...80 мм він потрапляє на шнек, що подає масу до апарату другого ступеня різання, де вона подрібнюється до розмірів 2...10 мм. Готовий корм викидається через нижнє вікно корпусу для подальшого використання.

Таблиця 6.2. Технічні характеристики подрібнювачів

Показники	ІГК-Ф-4-1	РСС-6Б	“Волгар-5”
Продуктивність, т/год			5...10
при подрібненні:			
соломи	4/11*	2,5	
зеленої маси		7	
Кутова швидкість робочого органу, с <sup>-1</sup>	22	9,6	16,6
Потужність, кВт	37	17	22
Маса, кг	1200	1450	1100

\* Чисельник – відсоток вологості до 14%, знаменник – до 35%

### 6.3 Розрахунок основних робочих органів соломосилосорізок

#### 6.3.1 Загальні вимоги

Раціональна схема різального апарату повинна відповідати таким вимогам:  
 мінімальні витрати енергії на роботу різання;  
 більш-менш рівномірне навантаження на вал машини;  
 надійне защемлення матеріалу на всій робочій довжині леза.

В.П. Горячкін виявив те, що на режими різання впливають такі основні конструктивні розміри:

$a$  і  $b$  – висота і ширина горловини;

$h$  – відстань від осі обертання до протирізальної пластини по вертикалі;

$c$  – відстань від осі обертання до горловини по горизонталі;

$p$  – виліт ножа в апаратах з прямолінійним лезом.

#### 6.3.2 Визначення основних параметрів дискових соломосилосорізок

Продуктивність соломосилосорізок визначається за формулами:

$$Q = a \cdot b \cdot l_{\min} \cdot \rho \cdot n \cdot z, \text{ кг/с}, \quad (6.20)$$

$$\text{або } Q = 0,16 \cdot a \cdot b \cdot l_{\min} \cdot \rho \cdot \omega \cdot z, \text{ кг/с}, \quad (6.21)$$

де  $a$  і  $b$  – висота і ширина горловини, м;

$l_{\min}$  – мінімальна довжина різки, оскільки  $l = 0,01 \dots 0,12$  м, то  $l_{\min} = 0,01$  м;

$\rho$  – об'ємна маса стиснутого продукту, для соломи  $\rho = 120 \dots 160 \text{ кг/м}^3$ , для зеленої маси  $\rho = 350 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ ;

$n$  – частота обертання ріжучого апарата, с<sup>-1</sup>;

$\omega$  – кутова швидкість ріжучого апарата, для соломосилосорізок  $\omega = 36 \dots 45 \text{ с}^{-1}$ ;

$z$  – кількість ножів на диску,  $z = 2 \dots 6$ .



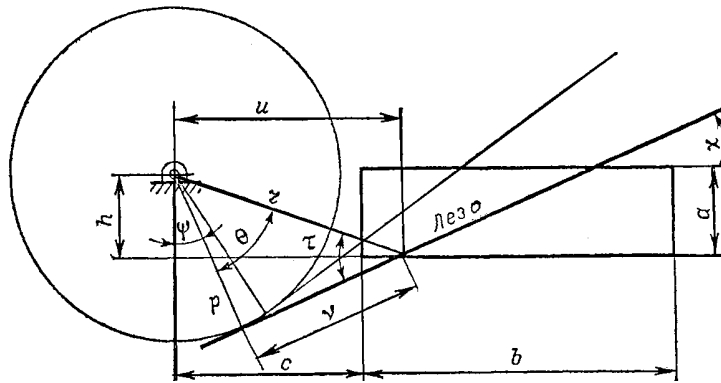


Рисунок 6.12 - Схема і конструктивні параметри різального апарата з прямим лезом

Для дискових подрібнювачів співвідношення  $a$  і  $b$  таке:

$$k = \frac{a}{b} = 0,25 \dots 0,45 \quad (6.22)$$

тому  $a = k \cdot b$ . (6.23)

Із формули (6.122) з урахуванням формули (6.123) знаходимо:

$$b = \sqrt{\frac{Q}{0,16 \cdot k \cdot l_{\min} \cdot \rho \cdot \omega \cdot z}}, \text{ м} \quad (6.24)$$

Потім визначаємо  $a$  за формулою (6.122).

Відстань від осі обертання до горловини по горизонталі (рисунок 6.13) визначається за формулою

$$c = \frac{b \cdot \operatorname{tg}(\tau_{\min} - x_{\min})}{\operatorname{tg}(\tau_{\min} - x_{\min}) - \operatorname{tg}(\tau_{\max} - x_{\max})}, \text{ м}, \quad (6.25)$$

де  $\tau_{\max}$  – максимальний кут ковзання,  $\tau_{\max} = 55^\circ$ ;

$\tau_{\min}$  – мінімальний кут ковзання,  $\tau_{\min} = 40^\circ$ ;

$x_{\max}$  – максимальний кут защемлення,  $x_{\max} = 50^\circ$ ;

$x_{\min}$  – мінімальний кут защемлення,  $x_{\min} = 24^\circ$ .

Відстань від осі обертання до протирізальної пластини по вертикалі можна визначити за формулою:

$$h = c \cdot \operatorname{tg}(\tau_{\max} - x_{\max}), \text{ м} \quad (6.26)$$

Для різального апарата з прямим лезом виліт ножа дорівнює:

$$p = \frac{h \cdot \sin \tau_{\max}}{\sin(\tau_{\max} - x_{\max})}, \text{ м}. \quad (6.27)$$

Відстань від осі обертання до кінця горловини визначаємо як максимальний радіус дії леза ножа:

$$r_{\max} = \frac{p}{\sin \tau_{\min}}, \text{ м}. \quad (6.28)$$

Мінімальний радіус дії леза ножа:

$$r_{\min} = \frac{p}{\sin \tau_{\max}}, \text{ м}. \quad (6.29)$$

Мінімальна робоча довжина леза

$$L_p = \frac{p \cdot (\operatorname{tg} \tau_{\max} - \operatorname{tg} \tau_{\min})}{\operatorname{tg} \tau_{\max} \cdot \operatorname{tg} \tau_{\min}}, \text{ м.} \quad (6.30)$$

Для різального апарата з криволінійним лезом:

$$R = \frac{b(b + 2c) + a(a + 2h)}{2 \left[ \sqrt{(c + b)^2 + h^2} \cdot \sin \tau_{\max} - \sqrt{h^2 + c^2} \cdot \sin \tau_{\min} \right]}, \text{ м.} \quad (6.31)$$

Максимальний радіус:

$$r_{\max} = \frac{c + b}{\cos(\tau_{\min} - \alpha_{\min})}, \text{ м.} \quad (6.32)$$

Мінімальний радіус:

$$r_{\min} = \frac{c + b}{\cos(\tau_{\max} - \alpha_{\max})}, \text{ м.} \quad (6.33)$$

За визначеними величинами будемо форму ножа (рисунок 6.13).

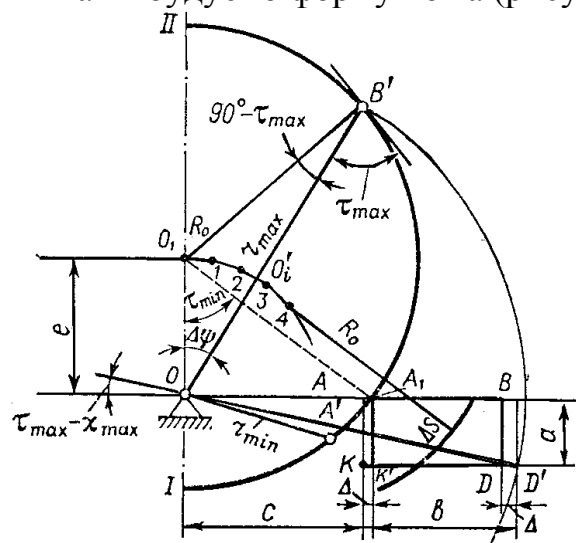


Рисунок 6.13 - Проектування схеми різального апарата з криволінійним лезом

Потужність на привід подрібнювача визначається за формулою:

$$N = q \cdot l_p \cdot v_c \cdot k, \text{ Вт,} \quad (6.34)$$

де  $q$  – питомий опір різанню, для соломи  $q = (3,5 \dots 8) \cdot 10^3$  Н/м;

$$k = \frac{a}{b} = 0,25 \dots 0,45 ;$$

$v_c$  – середня швидкість різання;

$$v_c = \pi \cdot n (r_{\max} + r_{\min}), \text{ м/с;} \quad (6.35)$$

$l_p$  – довжина леза, що бере участь у роботі,

$$l = \frac{a}{\sin \alpha_c}, \text{ м,} \quad (6.36)$$

$$\alpha_c = \frac{\alpha_{\max} + \alpha_{\min}}{2}. \quad (6.37)$$

### 6.3.3 Визначення основних параметрів барабанних соломосилосорізок

Продуктивність соломосилосорізки визначається за формулами (6.120; 6.21).

Ширину горловини  $b$  з урахуванням того, що  $a = 0,04 \dots 0,06$  м, а кутова

швидкість для соломосилосорізок складає  $40 \dots 60 \text{ с}^{-1}$ , а для силосозбиральних комбайнів –  $100 \dots 150 \text{ с}^{-1}$  розраховуємо за формулою

$$b = \frac{Q}{a \cdot l_{\min} \cdot \rho \cdot n \cdot z}, \text{ м.}$$

Потім визначаємо діаметр барабана:

$$D_6 = \frac{z}{\pi} (b \cdot \text{tg } x - a), \text{ м.} \quad (6.38)$$

де  $x$  – кут установки ножів на барабані,  $x = 24 \dots 30^\circ$ ;

$z$  – максимальна кількість ножів на барабані,  $z = 3 \dots 6$ .

Довжина барабана береться з урахуванням ширини горловини:

$$L_6 > b, \text{ м.} \quad (6.39)$$

Довжина ножа, що бере участь у різанні:

$$l_p = \frac{a}{\sin x}, \text{ м.} \quad (6.40)$$

Повна довжина ножа:

$$L = \frac{b}{\cos x}, \text{ м.} \quad (6.41)$$

Радіус кривизни ножів можна прийняти

$$R_H = (3 \dots 5) D_6, \text{ м.} \quad (6.42)$$

Потужність на привід барабанного подрібнювача визначається за формулою:

$$N = \pi \cdot q \cdot b \cdot D_6 \cdot n, \text{ Вт.} \quad (6.43)$$

А з урахуванням опору повітря і на холостий хід:

$$N_p = \frac{5}{3} N, \text{ Вт.} \quad (6.44)$$

#### **6.3.4 Розрахунки штифтового подрібнювача**

Подрібнювач складається з рухомого диска і нерухомого, на яких концентрично встановлено штифти. У поперечному розрізі штифти ротора і нерухомого диска входять у проміжки між собою (рисунк 6.14). Повітряний потік, що створюється лопатями, а також відцентровачами подають матеріал в зазор між штифтами, де він подрібнюється на частки розміром до  $10 \dots 30 \text{ мм}$  із розщепленням стебел упродовж волокон. Подрібнений матеріал повітряним потоком вивантажується із подрібнювача.

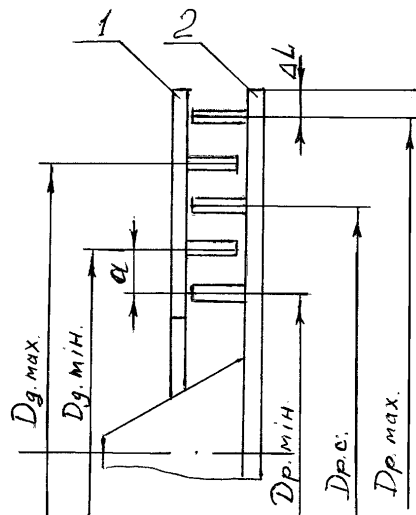


Рисунок 6.14 - Розрахункова схема штифтового подрібнювача: 1 – нерухомий диск, 2 – рухомий диск (ротор)

Розрахунки подрібнювача проводимо, виходячи із заданої продуктивності  $Q_p$ .

$$Q_p = z_p \cdot \mu, \text{ кг/с}, \quad (6.45)$$

де  $z_p$  – кількість штифтів на роторі, шт.;

$\mu$  – питома продуктивність на один штифт,  $\mu = 0,007 \dots 0,035 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{шт}}$ .

Звідси кількість штифтів на роторі буде:

$$z_p = \frac{Q_p}{\mu}, \text{ шт.} \quad (6.46)$$

Кількість штифтів на нерухомому диску буде:

$$z_d = z_p \cdot \varepsilon, \text{ шт.} \quad (6.47)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт пропорційності,  $\varepsilon = 0,7 \dots 0,8$ .

Розрахована кількість штифтів округляється до цілого числа.

Беремо кількість рядів штифтів на роторі і нерухомому диску: звичайно беруть три ряди штифтів на роторі і два на нерухомому диску. У цьому випадку одержуємо найбільшу ефективність процесу подрібнення і вивантаження корму.

Кількість штифтів у рядах визначається за формулою:

$$m = \frac{z}{N}, \text{ шт}, \quad (6.48)$$

де  $z$  – кількість штифтів на роторі або диску, шт.;

$N$  – кількість рядів на роторі або диску, шт..

Штифти розміщуються в шахматному порядку по двох або більше концентричних колах. Кут між суміжними штифтами в ряду буде таким:

$$\Theta = \frac{2\pi}{m}, \text{ рад.} \quad (6.49)$$

$$\Theta = \frac{360}{m}, \text{ град.} \quad (6.50)$$

Кут між суміжними штифтами різних рядів буде таким:

$$\Theta_p = \frac{\Theta}{2}, \text{ град (рад)}. \quad (6.51)$$

Визначаємо довжину (глибину) камери подрібнення:

$$L = L_i + 2\Delta L, \text{ м}, \quad (6.52)$$

де  $L_i$  – відстань між крайніми рядами штифтів, м;

$\Delta L$  – відстань від крайнього ряду до краю ротора,  $\Delta L = 0,018 \dots 0,02$  м.

$$L_i = (N_p + N_d - 1) \cdot a, \text{ м}, \quad (6.53)$$

де  $a$  – відстань між сусідніми рядами штифтів,  $a = 0,025 \dots 0,028$  м.

$N_p$  і  $N_d$  – кількість рядів на роторі і диску, шт.

Визначаємо діаметри концентричних кіл на роторі і диску для розміщення рядів штифтів:

Мінімальний діаметр на роторі:

$$D_{p.\min} = \frac{v_{\min} \cdot t \cdot m_p}{\pi}, \text{ м}, \quad (6.54)$$

де  $v_{\min}$  – мінімальна швидкість руху штифтів на внутрішньому колі ротора,  $v_{\min} = 38 \dots 47$  м/с;

$t$  – час, за який ротор повертається на кут  $\frac{\Theta}{2}$ ,  $t = (4,5 \dots 7,5) \cdot 10^{-3}$  с.

$$D_{p.c.} = D_{p.\min} + 4a, \text{ м}. \quad (6.55)$$

$$D_{p.\max.} = D_{p.\min} + 8a, \text{ м}. \quad (6.56)$$

$$D_{d.\min.} = D_{p.\min} + 2a, \text{ м}. \quad (6.57)$$

$$D_{d.\max.} = D_{p.\min} + 6a, \text{ м}. \quad (6.58)$$

Частота обертання ротора визначається за формулою:

$$n = \frac{v_{\min}}{\pi \cdot D_{p.\min}}, \text{ с}^{-1}, \quad (6.159)$$

або кутова швидкість  $\omega = \frac{2v_{\min}}{D_{p.\min.}}, \text{ с}^{-1}$ . (6.60)

### 6.3.5 Розрахунок потужності на привід подрібнювача

Оскільки подрібнювач обладнується живильником і вивантажувальним пристроєм, то загальна потужність на привід складає:

$$N = N_{ж} + N_{п} + N_{x.x.} + N_{тр}, \text{ Вт}, \quad (6.61)$$

де  $N_{ж}$  – потужність, що витрачається на привід живильника (розрахунки наведено далі), Вт;

$N_n$  – потужність, що витрачається на подрібнення матеріалу, Вт;

$N_{x.x.}$  – потужність, що витрачається на холостий хід подрібнювача, Вт;

$N_{mp}$  – потужність, що витрачається на вивантажувальний пристрій (розрахунки наведено далі), Вт.

Потужність, що витрачається на подрібнення матеріалу, точно визначити неможливо тому, що вона залежить від багатьох складових (геометричні і кінематичні параметри, фізико-механічні властивості стеблових кормів, які

змінюються в залежності від культури, терміну зберігання, вологості тощо), тому приблизно, з достатньою вірогідністю, її можна визначити за формулою:

$$N_n = k \cdot Q \cdot v_c^2, \text{ Вт}, \quad (6.62)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує геометричні і кінематичні параметри, а також фізико-механічні властивості матеріалів,  $k = 8 \dots 8,5$ ;

$Q$  – продуктивність подрібнювача, кг/с;

$v_c$  – середня швидкість штифтів,  $v_c = 40 \dots 55$  м/с.

Потужність  $N_{z.z.}$  можна визначити за емпіричною формулою:

$$N_{z.z.} = g(A \cdot \omega + B \cdot \omega^2), \text{ Вт}, \quad (6.63)$$

де -  $A$  і  $B$  – коефіцієнти, одержані дослідним шляхом:  $A = 0,6$ ,  $B = 0,68 \cdot 10^{-5}$ .

### 6.3.6 *Визначення геометричних і кінематичних параметрів живильника*

З урахуванням того, що об'ємна маса насипних соломи, сіна або зеленої маси незначна, то найбільш раціональною схемою живильника може бути схема, яку наведено на рис. 7.4.

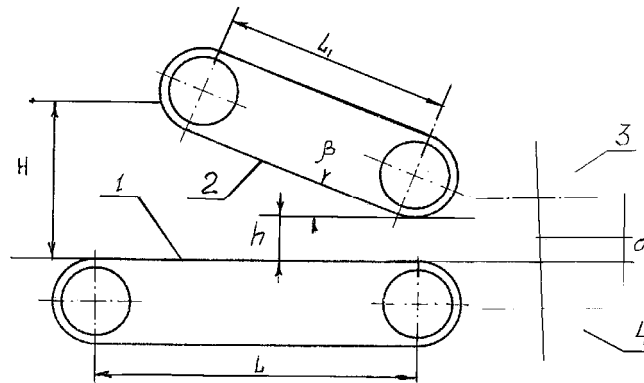


Рисунок 6.15 - Схема живильника: 1 і 2 – транспортери; 3 і 4 – вальці

Така конструкція дозволяє стискувати матеріал, збільшувати його об'ємну масу, подаючи його на вальці тонким шаром, що дозволяє зменшувати діаметр вальців.

Продуктивність живильника визначається за формулою:

$$Q = a \cdot b \cdot v \cdot \rho, \text{ кг/с}, \quad (6.64)$$

де  $v$  – швидкість подачі маси, м/с;

$a$  і  $b$  – висота і ширина горловини, м;

$\rho$  – об'ємна маса стиснутого продукту, кг/м<sup>3</sup>.

$$\text{або } Q = H \cdot b \cdot v \cdot \rho', \text{ кг/с}, \quad (6.65)$$

де  $\rho'$  – об'ємна маса насипного продукту, для соломи  $\rho' = 48 \dots 72$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\frac{h}{H} = 0,4 \dots 0,6$$

де  $H$  – товщина шару матеріалу до ущільнення, м;

$h$  – товщина шару матеріалу після ущільнення, м.

У тому випадку, коли відсутні вальці  $h=0,7a$ .

Для затягування шару соломи в зазор між транспортерами живильниками необхідно виконання умови:

$\beta < 2\varphi$ .

Для соломи  $\varphi = 17 \dots 27^\circ$ ,  $\beta = 20^\circ$ .

В існуючих конструкціях подрібнювачів прийнято такі розміри:

$L = 1,2 \dots 1,6$  м

$L_i = 0,3 \dots 0,5$  м.

Ширина транспортера відповідає ширині горловини  $b$ .

### 6.3.7 Визначення параметрів вальців живильника

$$d_b = \frac{h - a'}{1 - \cos \alpha}, \text{ м.} \quad (6.66)$$

$$h = 2 \dots 4 a', \text{ м.} \quad (6.67)$$

$$a' = 0,7 a, \text{ м,} \quad (6.68)$$

де  $\alpha$  – кут затягування соломи, для гладких вальців  $\alpha = 20^\circ$ .

Для того, щоб зменшити діаметр вальців, їхню поверхню роблять рифленою, збільшуючи кут  $\alpha$ .

За розміром висоти горловини визначаємо  $a'$ ,  $h$ ,  $d_b$  і  $H$ .

Довжина вальців  $l_B = b$ , м.

Частоту обертання вальців визначаємо за формулою:

$$n_B = \frac{l \cdot z \cdot n}{\pi \cdot d_B}, \text{ с}^{-1}, \quad (6.69)$$

де  $z$  – кількість ножів на подрібнювачі;

$l$  – відповідна довжина різки, м;

$n$  – частота обертання подрібнювача,  $\text{с}^{-1}$ .

Максимальна частота обертання вальців визначається з формули (7.44) з урахування того, що  $v = 2\pi \cdot n_B \cdot R_B = \pi \cdot n_B \cdot d_B$ , м/с:

$$n_B = \frac{Q}{\pi \cdot a \cdot b \cdot \rho \cdot d_B}, \text{ с}^{-1}. \quad (6.70)$$

Швидкість подачі корму при різній довжині різки і кількості ножів:

$$V = l \cdot z \cdot n, \text{ м/с.} \quad (6.71)$$

### 6.3.8 Визначення потужності, необхідної для приводу живильника

Потужність на привід живильника складається з потужностей на привід горизонтального транспортера  $N_g$ , на привід притискного транспортера  $N_{пр}$  і на привід вальців  $N_g$ :

$$N_{ж} = N_g + N_{пр} + N_B, \text{ Вт.} \quad (6.72)$$

Розрахунки потужності на привід горизонтального і притискного транспортерів проводять з урахуванням типу транспортерів (стрічковий, ланцюгово-планчатий тощо), а також стискання продукту між транспортерами.

Потужність на привід вальців визначають за формулою:

$$N_B = \pi \cdot l_B \cdot q \cdot d_B \cdot n_B \cdot f, \text{ Вт,} \quad (6.73)$$

де  $q$  – питомий тиск вальців на соломі,  $q = 1,6 \cdot 10^4 \dots 1,9 \cdot 10^4$ , Н/м;

$f$  – коефіцієнт тертя соломи по вальцях,  $f = 0,6 \dots 0,7$ .

У зв'язку з тим, що довжина транспортерів живильника незначна, і основне навантаження на них – це опір матеріалу при його стискуванні між транспортерами, то потужність на їхній привід попередньо можна приблизно визначити за формулою:

$$N_{\Gamma} + N_{\text{пр}} = 2q \cdot b \cdot v \cdot f, \text{ Вт.} \quad (6.74)$$

### 6.3.9 Розрахунки пневматичного вивантажувального пристрою

Витрати повітря визначають за формулою:

$$Q_n = \frac{Q}{\mu \cdot \rho_n}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6.75)$$

де  $Q$  – продуктивність подрібнювача, кг/с.

$\mu$  – коефіцієнт вагової концентрації суміші в трубопроводі, для низького і середнього тиску,  $\mu = 0,5 \dots 5$ ;

$\rho_n$  – щільність повітря,  $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ .

У той же час  $Q_n$  визначають за іншою формулою:

$$Q_n = \frac{\pi d_m^2 \cdot V_n}{4}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6.76)$$

де  $d_m$  – діаметр трубопроводу, м;

$V_n$  – швидкість руху повітря в трубопроводі, м/с;

$$V_n = (1,25 \dots 2,5) V_{\text{кр}}, \quad (6.77)$$

де  $V_{\text{кр}}$  – критична швидкість руху повітря, визначаємо за таблицею 6.3.

Таблиця 6.3 - Критична швидкість руху повітря, м/с

Матеріали	$V_{\text{кр}}$
Солома пшениці	12 ...19
Солома жита	6,4 ...8,4
Солома вівса	7,0 ...8,7
Полова гречана	0,92 ...2,73
Полова	0,67 ...3,1
Солома, різана довжиною до 100 мм	3,5 ...4,25
Зелена маса різана	5,0 ...7,5

У тому випадку, коли машину використовують для подрібнення як соломи, так і зеленої маси, розрахунки проводять за зеленою масою.

Порівнюючи праві частини рівнянь (6.175) і (6.176), визначаємо діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V_n \cdot \mu \cdot \rho_n}}, \text{ м.} \quad (6.78)$$

Для створення необхідної швидкості руху суміші повітря і матеріалу і для подолання опору в трубопроводі необхідно створити перепад тисків:

$$H = H_{\text{дин}} + H_{\text{ст}}, \text{ Н/м}^2. \quad (6.79)$$

Динамічний тиск визначають за формулою:



$$H_{\text{дин}} = \rho \cdot \frac{V_n^2}{2g} \cdot \left( 1 + \mu \frac{V_M^2}{V_n^2} \right), \text{ Н/м}^2, \quad (6.80)$$

де  $\frac{V_M}{V_n}$  – відношення середньої швидкості,  $\frac{V_M}{V_n} = 0,65 \dots 0,85$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/с}^2$ .

Величину статичного тиску визначають таким чином:

$$H_{\text{ст}} = H_{\text{під}} + H_{\text{тр}} + H_{\text{м}}, \text{ Н/м}^2, \quad (6.81)$$

де  $H_{\text{під}}$  – витрати тиску на піднімання суміші маси і повітря,  $\text{Н/м}^2$ ;

$H_{\text{тр}}$  – витрати тиску на тертя при транспортуванні суміші в трубопроводі,  $\text{Н/м}^2$ ;

$H_{\text{м}}$  – витрати тиску в місцевих переходах (коліна, дифузор, дефлектор),  $\text{Н/м}^2$ ;

$$H_{\text{під}} = (1 + \mu) \cdot \rho_n \cdot h, \text{ Н/м}^2, \quad (6.82)$$

де  $h$  – висота транспортування суміші, м.

$$H_{\text{тр}} = \lambda_c \frac{l_i V_n^2}{d_T \cdot 2g} (1 + \mu) \cdot \rho_n, \text{ Н/м}^2, \quad (6.83)$$

де  $l_i$  – довжина трубопроводу, м;

$\lambda_c$  – коефіцієнт опору руху суміші,  $\lambda_c = (1,2 \dots 1,5) \cdot \lambda_n$ .

$$\lambda_n = 0,0124 + \frac{0,0011}{d_T}. \quad (6.84)$$

$$H_{\text{м}} = \xi \frac{V_n^2 \cdot \rho_n}{2g}, \text{ Н/м}^2, \quad (6.85)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт опору руху в переході,  $\xi = 0,16$ .

Потужність, яка необхідна для транспортування подрібненої маси, визначається за формулою:

$$N = Q_H \cdot H \cdot g, \text{ Вт}. \quad (6.86)$$

## 7 Машини та обладнання для обробки коренебульбоплодів

### 7.1 Основи теорії різання коренебульбоплодів

Для різання коренебульбоплодів використовують різець, який має форму клина. Теорію різання металів розробив російський вчений І.Тіме, а відносно різання сільськогосподарських матеріалів (грунту, стеблових матеріалів, коренеплодів тощо) – академік В.П. Горячкін, який назвав її теорією клина.

У порівнянні з різанням стеблових кормів процес різання коренебульбоплодів проходить інакше. Це пов'язано з фізико-механічними властивостями і геометричними параметрами останніх. Процес створення стружки при входженні клина в коренебульбоплід здійснюється таким чином (рисунок 7.1).

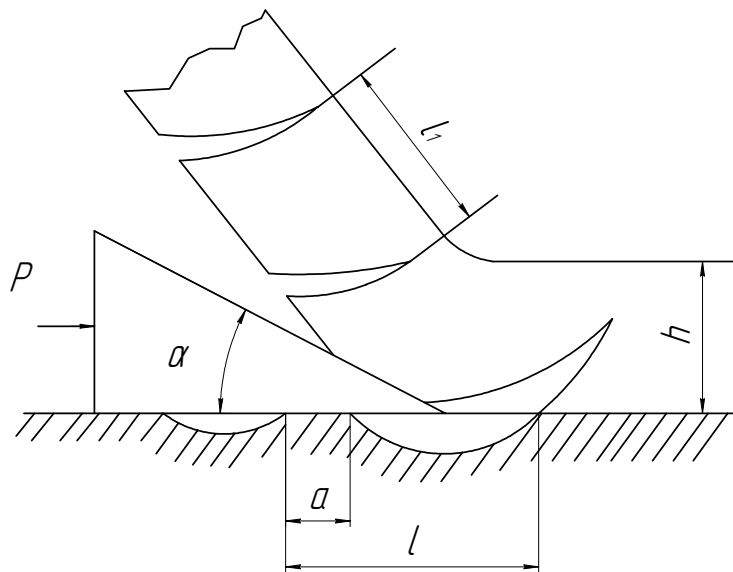


Рисунок 7.1 – Схема входження клина і створення стружки

У перший момент клин з кутом  $\alpha$  входить у матеріал під дією сили  $P$  і стискає його на шляху  $a$ . У наступний момент, коли напруга в матеріалі досягне межі, проходить сколювання стружки на довжині  $l$ , яка буде значно перевищувати відрізок стискання  $a$ . Сколювання дещо випереджає лезо клина. Спочатку проходить заглиблення в товщу матеріалу, а потім воно йде в напрямку поверхні під деяким кутом, але до кінця не доходить. У цей час опір на входження клина практично зникає. Клин проходить далі відрізком  $l$  і знову входить у матеріал. Процес повторюється. Таким чином утворюється стружка із сколами. Академік В.П. Горячкін запропонував шлях  $a$  визначати за формулою:

$$a = \frac{h \cos \varphi \sin^2 \left[ \left( \frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \right] \cos \left[ \frac{(\varphi + \varphi_1 - \alpha)}{2} \right]}{\cos^3 \left[ \frac{(\varphi + \varphi_1 + \alpha)}{2} \right]}, \quad (7.1)$$

де  $h$  – товщина стружки, м;

$\alpha$  – кут різання, град;

$\varphi$  – кут тертя матеріалу на гранях клина, град;

$\varphi_1$  – кут тертя в площині, град.

Оскільки сколювання стружки проходить практично без ковзання по площині сколювання, то можна вважати, що  $\varphi_1 = 0$ . Формула (7.1) буде мати вигляд:

$$a = \frac{0,5h \cos \varphi \cos \left[ \frac{(\varphi - \alpha)}{2} \right]}{\cos^3 \left[ \frac{(\varphi + \alpha)}{2} \right]}, \quad (7.2)$$

При цьому відношення  $a$  до  $l$  визначається таким чином:

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{a}{l} = \frac{0,5 \cos \varphi \cos \left[ \frac{(\varphi - \alpha)}{2} \right]}{(0,34 + 0,026\alpha + 0,5h) \cdot \cos^3 \left[ \frac{(\varphi - \alpha)}{2} \right]}. \quad (7.3)$$

Отримані формули та дослідні дані показують, що довжини  $a$  і  $l$  залежать від товщини стружки  $h$  і кута різання  $\alpha$ , а також кута тертя  $\varphi$  і майже не залежать від швидкості різання і товщини ножа.

При різанні коренебульбоплодів використовується 1-й спосіб – нормальне різання (рубка). Це пояснюється тим, що значну частину шляху в процесі різання ( $l - a$ ) лезо взагалі не навантажене. Окрім цього, встановлення леза під деяким кутом  $\tau$  призводить до ускладнення конструкції подрібнювача без особливих енергетичних переваг.

Для визначення загального зусилля різання коренебульбоплодів можна використати раціональну формулу акад. В.П. Горячкіна:

$$P = P_0 + kbh + \varepsilon bhv^2, \text{ Н} \quad (7.4)$$

де  $P_0$  – деякий загальний опір, Н;

$k$  і  $\varepsilon$  – коефіцієнти пропорційності;

$b$  і  $h$  – ширина і товщина стружки, м;

$v$  – швидкість різання, м/с.

Складові формули розділяють загальний опір на три частини: деякий постійний опір, який не залежить від перерізу стружки; опору деформації матеріалу; опору, який залежить від швидкості різання і відкидання стружки. У загальному вигляді формула має вигляд:

$$P = P_0 + P_y + P_v, \text{ Н} \quad (7.5)$$

За даними Г.І. Новикова, опір різанню лезом  $P_0$  залежить головним чином від механічної міцності матеріалу, параметрів ножа (товщини леза і кута різання  $\alpha$ ) і товщини стружки  $h$ .

$$P_0 = \beta \Delta L t^m \lambda, \text{ Н} \quad (7.6)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який залежить від міцності матеріалу (для буряків  $\beta = 10,4$ , для моркви  $\beta = 7,5$  і картоплі  $\beta = 6,5$ );

$\Delta L$  – довжина навантаженої частини леза ножа, см;

$t$  – товщина леза ножа ( $t = 0,003 \dots 0,01$  см);

$m$  – показник ступеня (для буряка  $m = 0,53$ , моркви  $m = 0,5$  і картоплі  $m = 0,55$ ).

Другий член формули визначається за виразом:

$$P_g = \frac{k}{\xi} \Delta L h, \text{ Н} \quad (7.7)$$

При цьому

$$\xi = \frac{l}{h} = 0,34 + 0,026a + 0,5h; \quad (7.8)$$

$$k = \frac{0,2k_4 \sin(\alpha + 2\varphi) \cos\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right)}{\cos^5\left(\frac{\varphi + \alpha}{2}\right)} \quad (7.9)$$

де  $k_4$  – межова напруга сколювання (для буряків  $k_4 = 9,3 \cdot 10^4$ , моркви –  $5,1 \cdot 10^4$  і картоплі –  $3,8 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>).

Третій член формули визначається за виразом:

$$P_v = 0,025 \Delta L h v^2, \text{ Н} \quad (7.10)$$

де  $v$  – швидкість різання, Н.

В інженерних розрахунках використовують простішу формулу для розрахунків:

$$P = \Delta L \cdot q, \text{ Н} \quad (7.11)$$

де  $q$  – середнє питоме зусилля різання ( $q = 0,17 \dots 0,20$  Н/м).

Значення питомого зусилля різання для різних коренебульбоплодів різне. Воно також залежить від кута установки і товщини леза, стану робочої поверхні тощо.

Для подрібнення коренебульбоплодів використовуються ножі різної форми: пласкі з прямим і гребінчастим лезом, пласкі з криволінійним лезом і совкоподібні. Кут заточки ножів  $25^\circ$ . Вони виготовляються з інструментальної сталі У9 або з маргацевої сталі 65Г і 70Г.

## 7.2 Машини для очищення, мийки і подрібнення коренебульбоплодів

### 7.2.1 Основні вимоги до машин

Для згодовування коренеплодів тваринам забрудненість продукту не повинна перевищувати 3% від маси, а розмір часток основної фракції після подрібнення для ВРХ повинен бути 10...15 мм, свиней – 7...8 мм, для птиці – мезга. Забрудненість коренебульбоплодів після збирання і зберігання складає 5% і більше. Для того, щоб підготувати коренебульбоплоди до згодовування, їх необхідно очистити і подрібнити.

Основні вимоги до машин такі:

- універсальність, здатність переробити всі види коренебульбоплодів;
- мати можливість регулювати розмір продукту для всіх груп споживачів;
- забезпечення якості (очистки, подрібнення) у відповідності до зоотехнічних рекомендацій;

- наявність пристроїв для видалення сторонніх домішок (камені, ґрунт тощо) без забруднення навколишнього середовища;
- хороший доступ до робочих органів для їхньої очистки, заміни і регулювання;
- можливість механізованого завантаження сировини і виявлення готової продукції, а також автоматизації процесу;
- простота конструкції, надійність і зручність в експлуатації;
- повинні мати якомога менші питомі металоємність і енергоємність.

### 7.2.2 Схеми машин для сухого очищення, мийки і подрібнення коренебульбоплодів

Для сухого очищення коренебульбоплодів використовують щіткові, кулачкові і шнекові машини (рисунок 7.2).

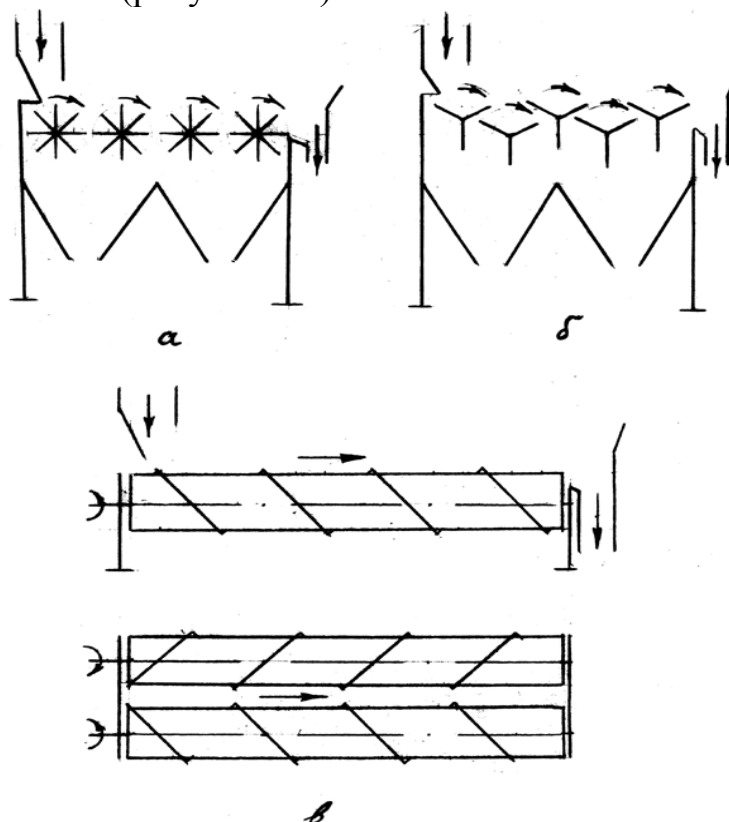


Рисунок 7.2 – Схеми машин для сухого очищення коренебульбоплодів: а – щіткові; б – кулачкові; в – шнекові

Щітковий очисник (рисунок 7.2 а) складається з циліндричних щіток, довжина яких залежить від заданої продуктивності машини. Очищення проходить за рахунок тертя щіток, які обертаються, по бульбах, одночасно останні переміщуються до виходу з машини. Частота обертання і жорсткість щіток добирають такими, щоб забезпечити очищення і не було пошкоджень бульбоплодів. Недоліком щіткового очисника є той, що для забезпечення необхідної чистоти бульбоплодів необхідно встановлювати значну кількість щіток, що, враховуючи довжину щіток, призводить до значних розмірів і маси машини. Тому щіткові очисники не набули поширення.

Кулачковий очисник (рисунок 7.2 б) складається з декількох валів з кулачками. Вали можуть розміщуватись в один або в два яруси, форма кулачків

також може бути різною. Під час обертання валів кулачки діють на коренебульбоплоди, очищуючи їх і передаючи на вихід.

Шнековий очисник (рисунок 7.2 в) складається з двох або декількох пар шнеків. При обертанні шнеків коренеплоди переміщуються вдовж них і, оскільки кутова швидкість шнеків різна (при рівних діаметрах), обертаються. За рахунок тертя шнеків об коренеплід останній очищується.

Кулачкові і шнекові очисники задовільно позбавляють масу коренеплодів від вільного ґрунту, а шнекові – і від рослинних залишків (на кулачкові вали рослинні залишки частково намотуються). Ці очисники не задовольняють вимог до очистки коренеплодів при приготуванні кормів. Їх можна монтувати на комбайнах для попереднього очищення коренеплодів.

Коренебульбомийки за конструкцією робочих органів поділяються на кулачкові, барабанні, дискові і шнекові (рисунок 7.3), а за принципом роботи – безперервної та періодичної дії.

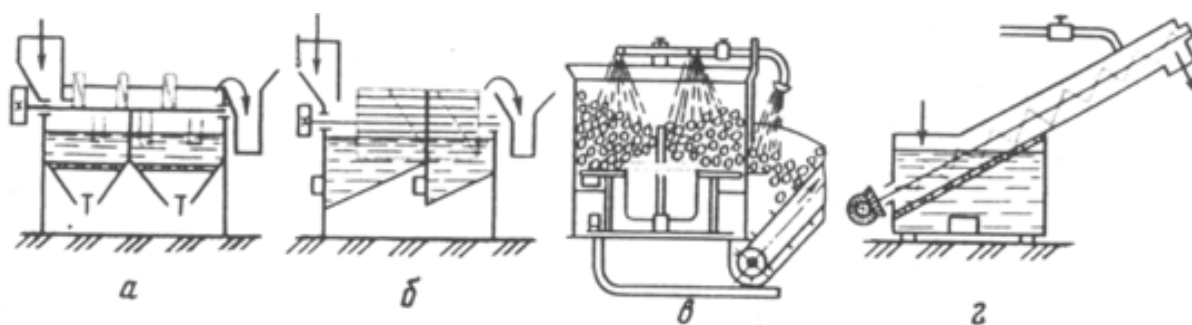


Рисунок 7.3 – Схеми коренебульбомийок: а – кулачкові; б – барабанні; в – дискові; г – шнекові

Загальні вимоги до роботи мийок такі:

- універсальність, для мийки всіх видів коренебульбоплодів;
- висока якість мийки при малих затратах води (не більше 0,4 л на 1 кг коренебульбоплодів) при високій продуктивності;
- наявність пристроїв для видалення сторонніх домішок (камені, ґрунт тощо);
- регулювання часу перебування продукту в мийці у залежності від забрудненості;
- хороший доступ до робочих органів для їх очищення, заміни і регулювання;
- можливість повторного використання води (рециркуляція води).

Кулачкова мийка (рисунок 7.3 а) складається з декількох валів з кулачками, які розміщені в ванні з водою. При обертанні валів коренебульбоплоди переміщуються в ванні до виходу, одночасно очищуються кулачками і омиваються водою. Омийтий бруд осідає в нижній частині ванни і періодично видаляється.

Барабанна мийка (рисунок 7.3 б) має ванну, і горизонтально або під малим кутом розміщено барабан, частково занурений у воду. Циліндрична частина барабана виготовлена з прутків або шин, розміщених із зазором. На внутрішній поверхні циліндра розміщено гвинтову навивку. При обертанні барабана коренебульбоплоди, які потрапляють в барабан, періодично занурюються у воду,

перекочуються і обтираються між собою і об стінки барабана, омиваються водою. Шнекова навивка переміщує коренебульбоплоди на вихід із мийки. Очистка ванни від бруду аналогічна кулачкової мийці.

Дискова мийка (рисунок 7.3 в) має вертикальну циліндричну камеру, в нижній частині якої розміщено диск із лопатями. Над камерою встановлено розбризкувач води. Мийка працює таким чином. Коренебульбоплоди завантажуються в камеру на диск, який обертається, зверху коренебульбоплоди поливаються водою. Лопаті диска перемішують коренебульбоплоди, які обтираються і омиваються водою, а потім викидаються з камери. Мийка обладнується циркуляційною системою подачі і відстоювання води.

Шнекові мийки (рисунок 7.3 г) бувають з вертикальним і похилим шнеком. Нижня частина шнека розміщується у ванні з водою, а у верхній частині шнека монтується колектор для подачі води. Коренебульбоплоди завантажуються у ванну, де відмокають, а потім захоплюються шнеком і транспортуються вгору і омиваються водою, яка подається через колектор. Для шнекових мійок важливим є час перебування коренебульбоплодів у ванні з водою. За цей час бруд, який є на коренебульбоплодах, повинен відмокнути, а потім у шнеку змитись водою.

Аналізуючи схеми мійок, можна зауважити, що кулачкові і барабанні мийки можна використовувати в технологічних лініях, де необхідно переробити значну кількість коренебульбоплодів (цукрові і спиртові заводи тощо). В умовах кормоцехів на фермах їх використовувати не раціонально. Більш прийнятними є дискові і шнекові мийки, при цьому перевагу віддають шнековим, оскільки у них менші питомі металоємність і енергоємність.

Коренебельборізки за конструкцією робочих органів поділяються на дискові і барабанні (рисунок 7.4). Окрім цих, подрібнення може виконуватись у молоткових і штифтових подрібнювачах, але якість подрібнення і питомі енерговитрати не задовольняють споживача.

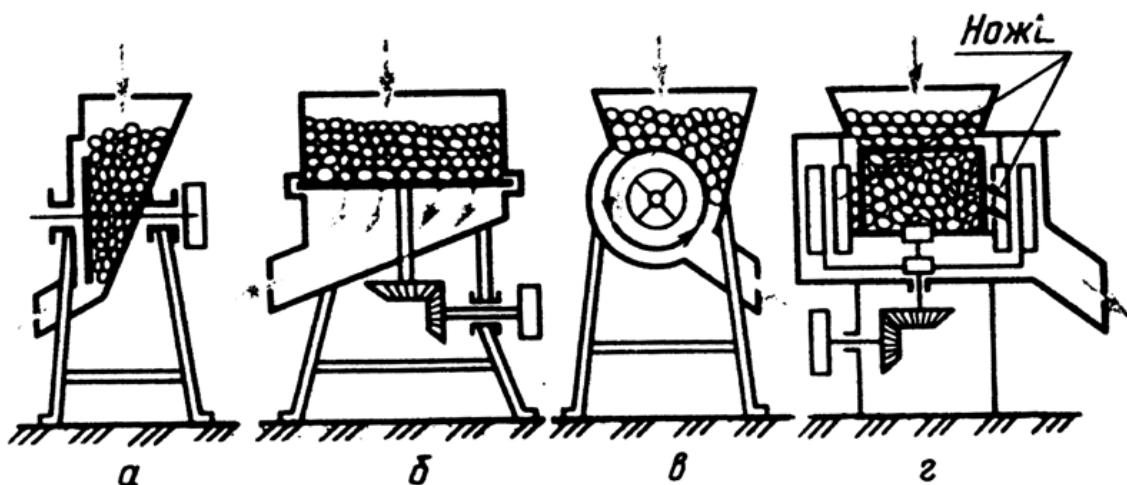


Рисунок 7.4 – Схеми подрібнювачів коренебульбоплодів: а – дисковий вертикальний; б – дисковий горизонтальний; в – барабанний; г – відцентровий

Дискові подрібнювачі з горизонтальним (рисунок 7.4 а) і вертикальним (рисунок 7.4. б) валами прості за конструкцією і мають робочий орган у вигляді диска з прорізами, над якими встановлено ножі, які при обертанні диска зрізають стружку з коренебульбоплодів, розміщених у камері подрібнення. Недоліком

схеми а є те, що під час роботи подрібнювача проходить заклинювання коренебульбоплодів між диском і протилежною стінкою камери подрібнення, що призводить до збільшення енерговитрат на подолання тертя диска об коренебульбоплоди. Недоліком схеми б є те, що після зрізання стружка падає на дно подрібнювача, і для її видалення необхідно встановлювати викидач (диск з лопатями), або закріплювати лопаті в нижній частині диска з ножами.

Барабанний подрібнювач (рисунок 7.4 в) може бути з горизонтальним валом, на якому закріплений барабан з ножами або з похилим валом, на якому закріплено циліндричний або конічний пустотілий барабан, по поверхні якого просічками в шаховому порядку сформовані різці. Недоліками барабанних подрібнювачів у порівнянні з дисковими є складніша конструкція, а також те, що після відрізання стружка потрапляє у середину барабана, звідки її видаляють за рахунок нахилу барабана або його конічності. Це обмежує продуктивність подрібнювача.

Відцентровий подрібнювач (рисунок 7.4 г) має циліндричну камеру подрібнення, у нижній частині якої обертається диск з лопатями. У циліндричній частині камери є вертикальні прорізи з ножами. Під час обертання диска коренебульбоплоди відкидаються до циліндричної стінки з ножами, і з них зрізається стружка. Для вивантаження стружки під диском встановлюється викидач. Недоліком такої схеми є досить значні питомі металоємність і енергоємність процесу.

Зважаючи на особливості конструкцій коренебульборізок для механізації кормо виробництва на фермах доцільно використовувати дискові коренерізки з вертикальним валом (рисунок 7.4 б). В індивідуальних господарствах, де є необхідність подрібнення малої кількості коренебульбоплодів, використовують подрібнювачі перших трьох типів із ручним приводом і електроприводом. Відцентрові подрібнювачі, зважаючи на їх недоліки, майже не використовуються.

Коренерізка КПІ-4 (рисунок 7.5) призначена для подрібнювання коренебульбоплодів на дрібні частини і стружку. Вона відноситься до типу горизонтально-дискових машин і складається з таких основних вузлів: бункера 8, камери подрібнення 4, верхнього диска 10 з ножем, нижнього диска з вертикальними ножами і лопатями для викидання подрібненого продукту, деки з прорізами 11, кожуха 3, рами 1 і електрообладнання.

Камера подрібнення складається з корпусу 4 і кришки 7. Збоку корпусу закріплений вивантажувальний рукав 12, а в нижній частині – флянцевий електродвигун 17. До кришки корпусу прикріплено бункер 8 з горловиною 7. Корпус і кришка з'єднані шарнірно, і в закритому положенні фіксуються двома відкидними болтами.

На вал електродвигуна надіто кільця 14, за допомогою яких регулюється відстань між нижнім диском і дном корпусу в межах 2...3мм. Для захисту від вологи на вал електродвигуна встановлено гумовий сальник.

У корпус можуть встановлюватись деки з зубцями (з прорізами) або без зубців.

Нижній і верхній диски закріплюються на валу електродвигуна спеціальним болтом 9. Загальну будову нижнього і верхнього дисків показано на рисунках 7.6, 7.7.



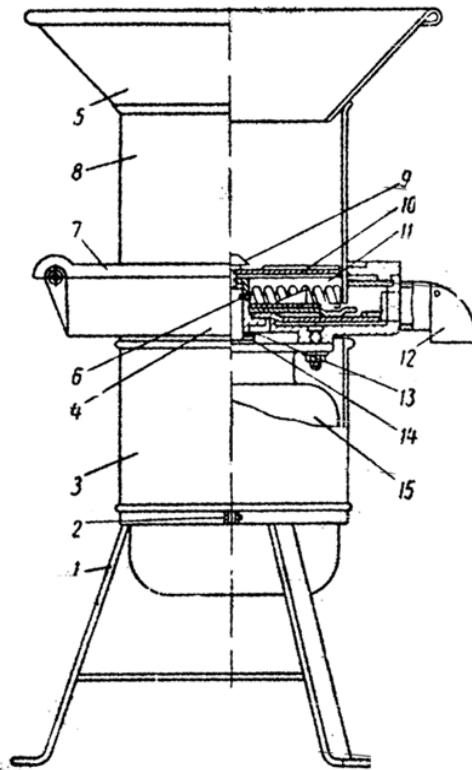


Рисунок 7.5 – Коренерізка КПІ-4: 1-рама; 2-стяжний болт; 3-кожух; 4-корпус камери подрібнення; 5-завантажувальна горловина; 6-штифт; 7-кришка камери подрібнення; 8-бункер; 9-спеціальний болт; 10-верхній диск; 11-дека з зубами; 12-вивантажувальний рукав; 13-гумовий сальник; 14-регулювальні кільця; 15-електродвигун.

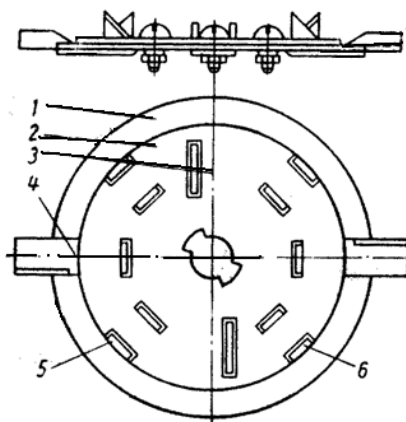


Рисунок 7.6 – Нижній диск: 1-нижній диск; 2-верхній диск; 3-внутрішня лопать; 4-зовнішня лопать; 5-ніж з внутрішнього заточкою; 6-ніж із зовнішнього заточкою.

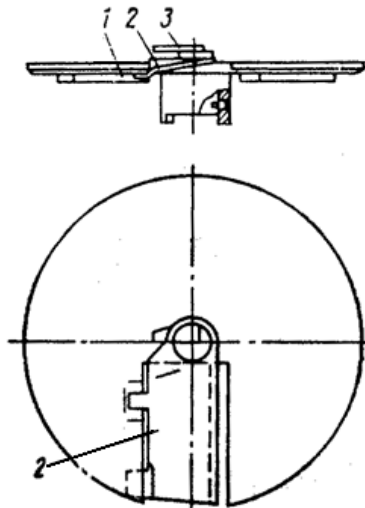


Рисунок 7.7 - Верхній диск із ножем: 1-диск; 2-змінний ніж; 3-спеціальний болт для закріплення ножа

При подрібненні коренеплодів для великої рогатої худоби на верхній диск встановлюють змінні ножі “5” або “8” і дека без зубців і отримують частки товщиною 7...10мм або більше 10мм відповідно. При обертанні верхнього диска з ножем зрізається стружка з коренеплоду, подається на нижній диск і лопатями нижнього диска видаляється через вивантажувальний рукав назовні.

При подрібненні коренеплодів свиней і птиці встановлюють деку із зубцями і стружку, яка падає на нижній диск, за допомогою ножів і зубчатої деки подрібнюється до часток 1...6 мм.

Подрібнювач коренеплодів ІК-Ф-10 призначений для подрібнення коренеплодів для всіх видів і вікових груп тварин, а також для переробки відходів овочів і фруктів. Використовується на малих тваринницьких фермах і селянських господарствах. Має дисковий робочий орган із чотирма ножами.

Мийка-подрібнювач ІКМ-Ф-10 (рисунок 7.8) призначений для очистки від каменів, мийки і подрібнення коренебульбоплодів для свиней і великої рогатої худоби. Він використовується у поточкових технологічних лініях кормоцехів із механізованою подачею коренебульбоплодів. Його можна використовувати і як самостійну машину.

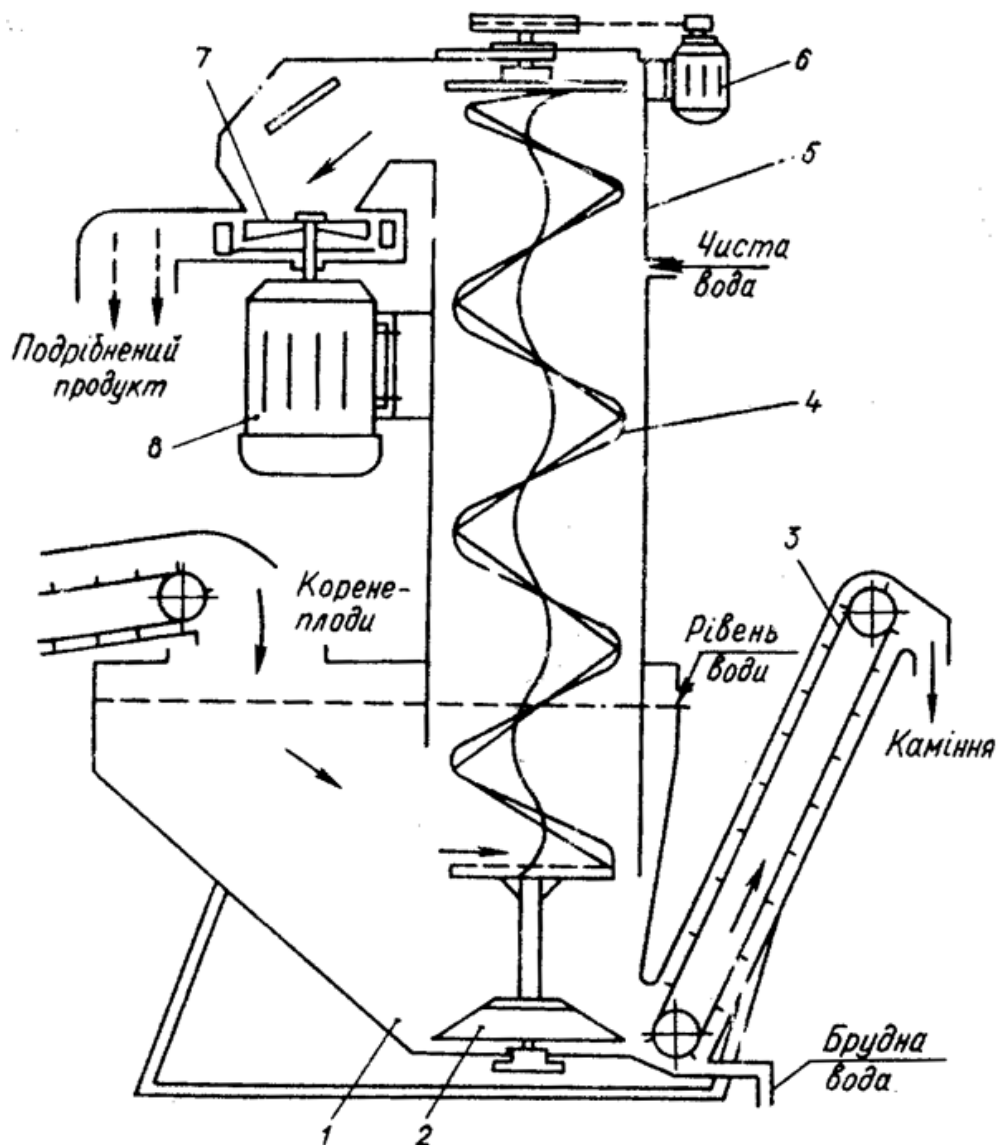


Рисунок 7.8 – Технологічна схема мийки-подрібнювача ІКМ-Ф-10: 1- ванна; 2- активатор; 3- вивантажувальний транспортер для каменів; 4- шнек; 5- корпус шнека; 6- електродвигун; 7- подрібнювач; 8- електродвигун подрібнювача

Ванна мийки становить собою зварну конструкцію, опорою якої є рама. Верхня частина ванни закрита листом, на якому закріплено корпус шнека і дві кришки. Одна з них має завантажувальну горловину, а інша легко знімається.

Шнекова мийка складається з шнека і кожуха, на якому встановлено водяні колектори і кроштейни для закріплення електродвигунів подрібнювача і шнека. Шнек безвальний. Він складається з гвинтової спіралі, до якої закріплені у верхній частині цапфа, а в нижній – труба, до якої прикріплені корпус підшипника з віссю. Вісь встановлена нерухомо в опорі, яка закріплена на дні ванни і забезпечує можливість натягування шнека. До фланця корпусу підшипників нижньої опори кріпиться активатор, виготовлений у вигляді зрізаного конуса.

Подрібнювач (рисунок 7.9) складається з корпусу 1 і двох дисків (верхнього 2 і нижнього 3). На верхньому диску встановлено два горизонтальні ножі 4, а на нижньому – дві вивантажувальні лопаті. Обидва диски закріплені на валу електродвигуна 10 за допомогою болта. Перехідник 6, який з'єднує

вивантажувальну горловину шнека з подрібнювачем, закріплений на кришці корпусу 1. У корпусі встановлено деку 7, яка охоплює верхній диск по діаметру. Циліндрична частина деки має похилі прорізи, через які за допомогою лопатей, встановлених на нижньому диску, продавлюється стружка, яку отримали після подрібнення ножами верхнього диска. Відбувається допоміжне подрібнення.

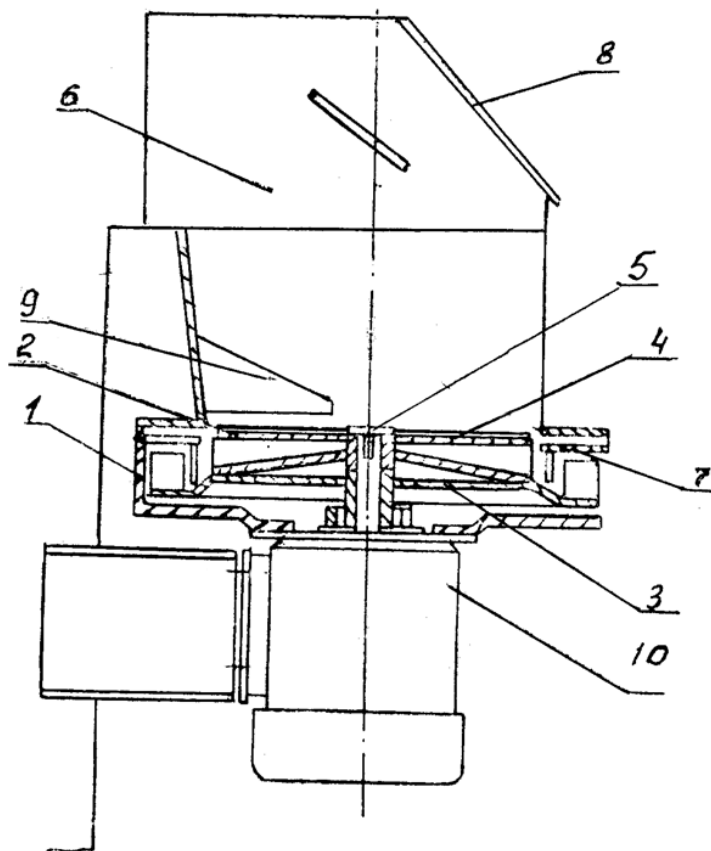


Рисунок 7.9 – Подрібнювач: 1- корпус; 2- верхній диск; 3- нижній диск із лопатями; 4- ножі; 5- болт; 6- перехідник; 7- дека; 8- кришка; 9- протириз; 10- електродвигун.

Скребачковий транспортер призначений для вивантаження з ванни каменів, піску і ґрунту. Він складається з транспортера, відкидного кожуха, люка для очистки і зливу води з ванни. Привід транспортера виконується від мотор – редуктора через ланцюгову передачу, на зірочці якої вмонтований зрізний штифт для попередження перевантаження транспортера.

Технологічний процес відбувається таким чином. Завантажені в ванну коренеплоди під дією збуреної активатором води перебувають у підвішеному стані, перемішуються, відмокають і, підхоплені шнеком, спрямовуються до подрібнювача. Під час підймання вони омиваються потоком води, яка подається насосом через колектори, які розміщені на корпусі шнека. У подрібнювачі коренеплоди подрібнюються двома ножами, які встановлені на верхньому диску. Для одержання дрібного подрібнення (для свиней) продукт проходить через деку. У той же час камені та інші важкі предмети опускаються на дно ванни і відкидаються активатором до вивантажувального транспортера.

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики машин

Показники	КП-4	ІК-Ф-1	ІКМ-Ф-10
Продуктивність, т/год	4	1,5...3	10..12
Частота обертання диска–подрібнювача, $\text{хв}^{-1}$ .	1440	955	465
Розміри часток подрібненого продукту мм:			
Стружка	7...10	5...10	5...15
Паста	1...6		1...10
Встановлена потужність електродвигунів, кВт	4,5	3,0	14,3
Витрати води на миття 1т коренеплодів, т	-	-	1,5
Маса, кг	157	100	940

### 7.3 Розрахунок основних параметрів машин для обробки коренебульбоплодів

#### 7.3.1. Визначення кутової швидкості відцентрового апарата для миття та різання коренів

Такий апарат становить собою диск із вертикальною віссю обертання. До цього диска прикріплені лопаті або крилачі. Крилачі потрібні для відкидання коренебульбоплодів до периферії, де проходить процес різання. Відкидання здійснюється під дією відцентрової сили інерції. На рисунку 7.10 показано схему відцентрового апарата, який обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ .

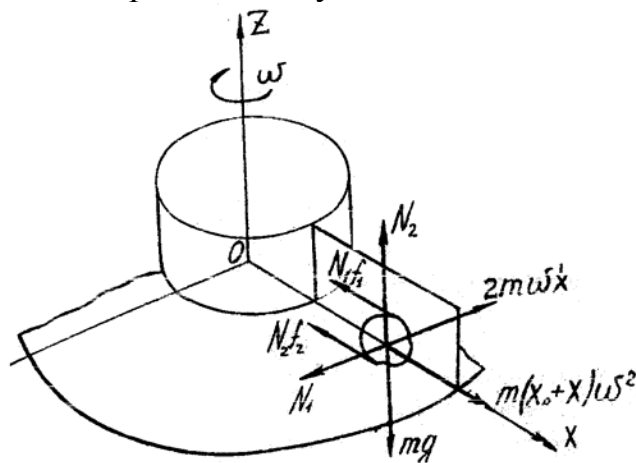


Рисунок 7.10. – Схема сил, які діють на коренебульбоплоди у відцентровому апараті

Вибрана рухома система координат  $XOYZ$ . На тіло діють сила тяжіння  $mg$ , відцентрована сила інерції  $m(x_0+x)\omega^2$ , Кориолісова сила інерції  $2m\omega\dot{x}$ , дві нормальні реакції площин  $N_1$  та  $N_2$  та дві сили тертя  $N_1f_1$  та  $N_2f_2$ . У початковому положенні коренеплід перебуває на відстані  $x_0$  від початку відліку. Через деякий проміжок часу  $t$  коренеплід під дією прикладених до нього сил переміститься на величину  $x$ .

З метою визначення величини переміщення  $x$  із відносною швидкістю  $\dot{x}$  складено диференціальні рівняння в такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= m(x_0 + x)\omega^2 - N_1f_1 - N_2f_2, \\ m\ddot{y} &= N_1 - 2m\omega\dot{x}, \\ m\ddot{z} &= N_2 - mg. \end{aligned} \right\} \quad (7.12)$$

Розглядаємо безвідривний рух ( $y=const$  і  $z=const$ ) при значеннях коефіцієнтів тертя ковзання  $f_1=f_2=f$ . При вказаних умовах після перетворень рівняння (7.12) отримано неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку

$$\ddot{x} + 2\omega f \dot{x} - \omega^2 x = x_0 \omega^2 - gf. \quad (7.13)$$

Після інтегрування диференційного рівняння (7.13) та визначення довільних постійних інтегрування  $C_1$  та  $C_2$  при початкових умовах  $t=0$ ,  $x=0$ ,  $\dot{x}=0$  отримано рівняння для визначення переміщення коренеклубнеплоду в такому вигляді:

$$x = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{gf}{\omega^2} - x_0, \quad (7.14)$$

де

$$C_1 = \frac{gf\lambda_2}{\omega^2(\lambda_1 - \lambda_2)} - \frac{x_0\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (7.15)$$

$$C_2 = -\frac{gf\lambda_1}{\omega^2(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{x_0\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}, \quad (7.16)$$

$$\lambda_1 = \omega(\sqrt{1+f^2} - f), \quad (7.17)$$

$$\lambda_2 = \omega(\sqrt{1+f^2} + f) \quad (7.18)$$

Швидкість відносного руху  $x$  коренеклубнеплоду по поверхням відцентрового апарату має такий вигляд:

$$\dot{x} = C_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} \quad (7.19)$$

Умова, за якої можливе різання коренебульбоплоду, представлена такою нерівністю:

$$mr\omega^2 > 2m\omega\dot{x}f + mgf, \quad (7.20)$$

де  $r$  – радіус відцентрового апарата.

Нормальне виконання технологічного процесу можливе в тому випадку, коли

$$\dot{x} \geq \frac{bz\omega}{2\pi}, \text{ м/} \quad (7.21)$$

де  $b$  – товщина стружки, яка зрізається одним ножем;

$z$  – кількість ножів.

Розв'язуючи спільно нерівності (7.20) та (7.21) відносно кутової швидкості, отримуємо:

$$\omega_{\min} \geq \sqrt{\frac{gf}{r - \frac{fbz}{\pi}}}, \text{ c}^{-1} \quad (7.22)$$

### 7.3.2 Розрахунок гвинтового апарата для миття коренів

Головними робочими органами гвинтового апарата є шнек та подрібнюючий апарат.

Діаметр шнека визначається з умови вільного переміщення найбільшого за розміром коренеплоду між кожухом та валом шнека.

Кутова швидкість вертикального шнека визначається з таких міркувань.

На коренеплід діють сила тяжіння  $mg$ , відцентрова сила інерції  $mR\omega^2$ , сила тертя  $F$  та нормальна реакція  $N$  поверхні шнека (рисунок 7.11).

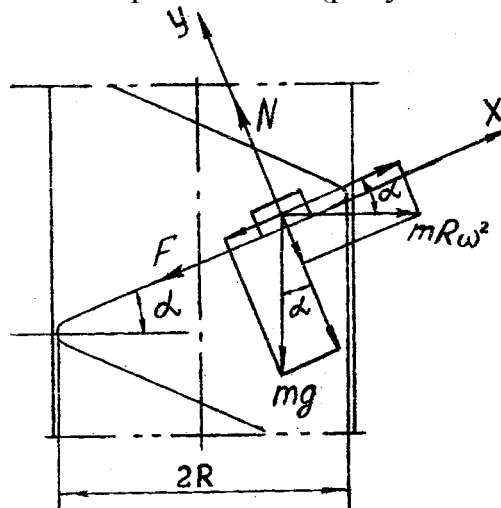


Рисунок 7.11. – Схема сил, які діють на коренеплід у вертикальному шнеці

Розглядаючи сили, які діють на коренебульбоплід по осях координат  $XOY$ , отримуємо таку систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_x &= mR\omega^2 \cos \alpha - F - mg \sin \alpha \geq 0, \\ \sum_{i=1}^n P_y &= N - mR\omega^2 \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.23)$$

Після знаходження значень нормальної реакції  $N$  та сили тертя  $F=Nf$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання, та розв'язання системи рівнянь (7.23) відносно мінімальної кутової швидкості  $\omega$  вертикального шнека, отримуємо:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{gtg(\alpha + \varphi)}{R}}, \quad (7.24)$$

де  $\varphi$  – кут тертя ковзання коренеплоду по поверхні шнека, град;  
 $R$  – радіус шнека, м.

### 7.3.3. Розрахунки шнекової мийки

Основні параметри шнекової мийки визначаються з урахуванням її продуктивності:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot k_3 \cdot k_0, \text{ кг} \quad (7.25)$$

де  $D$  - діаметр шнека,  $D = 0,3 \dots 0,6$  м;

$d$  - діаметр вала шнека,  $d = (0,15 \dots 0,25)$  Д, м;

$S$  - крок гвинтової лінії шнека, який визначається за формулою:

$$S = \pi D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ м} \quad (7.26)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу гвинтової лінії шнека,  $\alpha = 10 \dots 20^\circ$ ;

$n$  - частота обертання шнека,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\rho$  - об'ємна маса коренеплодів,  $\rho = 600 \dots 670$   $\text{кг/м}^3$ ;

$k_3$  - коефіцієнт заповнення шнека,  $k_3 = 0,3 \dots 0,4$ ;

$k_0$  - коефіцієнт, який враховує кут нахилу шнека і визначається з таблиці

7.2.

Таблиця 7.2 – Залежність коефіцієнта  $k_0$  від кута нахилу шнека  $\tau$

$\tau$ , град	10	15	20	25	30	35	40	45	90
$k_0$	0,8	0,7	0,65	0,6	0,58	0,55	0,52	0,5	0,3

У залежності від продуктивності та геометричних параметрів коренеплодів вибираємо діаметр шнека  $D$ , кут нахилу гвинтової лінії шнека  $\alpha$ , кут нахилу шнека  $\tau$  і визначаємо крок  $S$  та коефіцієнт  $k_0$ . Потім визначаємо частоту обертання шнека:

$$n = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2) \cdot S \cdot \rho \cdot k_3 \cdot k_0}, \text{ с}^{-1} \quad (7.27)$$

Для похилих шнеків визначаємо максимально допустиму частоту обертання, за якої коренеплоди не будуть перекидатися витками шнека:

$$n_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q(\cos \Psi - f \sin \Psi)}{fR \cdot \sin \alpha}}, \text{ с}^{-1} \quad (7.28)$$

де  $\Psi$  - кут між дотичного до витка шнека і вертикаллю,

$$\Psi = \pi - (\tau + \alpha); \quad (7.29)$$

$f$  - коефіцієнт тертя коренебульбоплодів по матеріалу шнека,  $f = 1,5 \dots 2$ ;

$$R - \text{радіус шнека, } R = \frac{D}{2}, \text{ м}$$

Після вирахування  $n_{\max}$  порівняємо її з розрахованою  $n$ .

Робоча частота обертання повинна складати:

$$n_p = (0,5 \dots 0,7) n_{\max}, \text{ с}^{-1} \quad (7.30)$$

з урахуванням цього приймаємо  $n_p$  і перераховуємо крок шнека  $S$ , діаметр шнека  $D$  тощо.

Для вертикальних шнеків необхідно визначити мінімальну частоту обертання шнека:

$$n_{\min} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q(\operatorname{tg} \alpha + f)}{R(1 - f \operatorname{tg} \alpha)}}, \text{ с}^{-1} \quad (7.31)$$



Вона повинна бути меншою за розраховану, в іншому випадку необхідно переглянути геометричні параметри шнека.

Довжину шнека визначаємо з мінімального часу перебування коренеплодів у мийці,  $t_{ш} = 10...15$  с.

$$L = S \cdot n \cdot t_{ш}, м \quad (7.32)$$

Далі визначаємо об'єм бункера-ванни:

$$V = \frac{Qt_{в}}{\rho \cdot k_3}, м^3 \quad (7.33)$$

де  $t_{в}$  - час перебування коренеплодів у ванні,  $t_{в} = 90...100$ с.

Продуктивність насоса для подачі води:

$$Q_H = k \cdot Q, л/с \quad (7.34)$$

де  $k$  – співвідношення води і коренебульбоплодів,  $k = 0,25...0,3$  л/кг.

Далі визначаємо енергетичні показники.

Потужність на привіз шнека:

$$N = (N_1 + N_2)K + N_3 + N_4, Вт \quad (7.35)$$

де  $N_1$  – потужність, яка витрачається на тертя матеріалу по жалобу і підймання його на висоту,  $B_m$  ;

$N_2$  – потужність, яка витрачається на тертя матеріалу об шнек,  $B_m$  ;

$N_3$  - потужність, яка витрачається на подолання тертя в підшипниках,  $B_m$  ;

$K$  – коефіцієнт, який враховує перемішування і подрібнення матеріалу,  $K=1,05...1,4$

Для коренебульбоплодів  $K = 1,05$

Узагальнена формула для визначення потужності і на привід шнека має вигляд:

$$N = K \cdot c \cdot Q \cdot g(L_r + \gamma H) \cdot f, Вт \quad (7.36)$$

де  $L_r$  – горизонтальна проекція шнека, м;  $L_r = L \cdot \cos \tau$

$H$  - висота підймання матеріалу (вертикальна проекція шнека),  $H = L \cdot \sin \tau$  ;

$c$ - коефіцієнт, який враховує кут нахилу шнека  $\tau$ , його значення наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Коефіцієнт урахування кута нахилу шнека

$\tau^{\circ}$	до 20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-90
$c$	10	10,5	11,3	12	13,2	14	20-30

### 7.3.4 Розрахунки дискового подрібнювача коренеплодів

Схему дискового подрібнювача подано на рисунку 7.12.

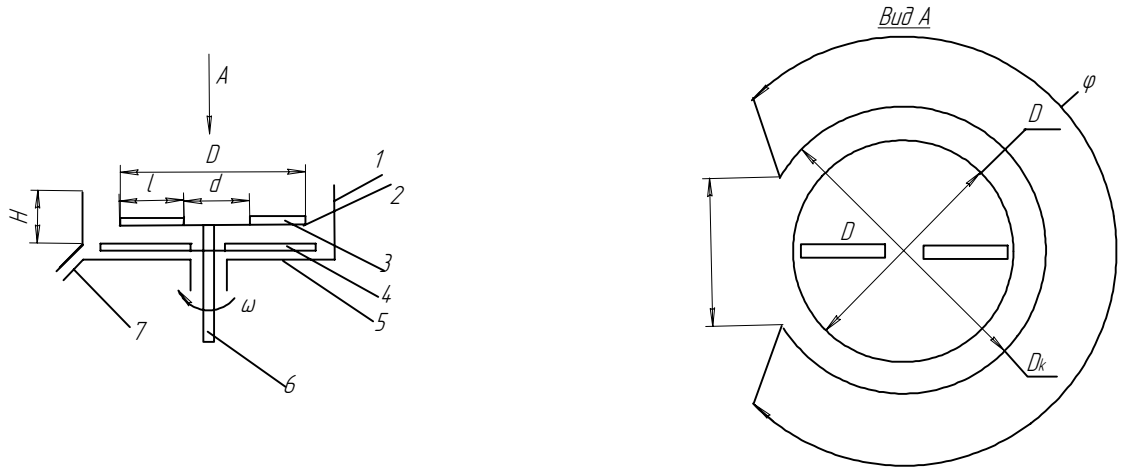


Рисунок 7.12 – Схема дискового подрібнювача: 1 - камера подрібнювання; 2 - диск з ножами; 3 - ножі; 4 - диск-кидалка; 5 - дно подрібнювача; 6 - вал; 7 - вікно

Потужність подрібнювача визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot h \cdot z \cdot \rho \cdot n \cdot k_3 \cdot K_n, \text{кг/с} \quad (7.37)$$

де  $h$  – товщина стружки, м;

$z$  – кількість ножів;

$\rho$  – щільність коренебульбоплодів;

$n$  - частота обертання,  $\text{с}^{-1}$

$k_3$  - коефіцієнт наповнення камери,  $k_3 = 0,35 \dots 0,45$ ;

$k_n$  - коефіцієнт використання довжини леза ножа,  $k_n = 0,7 \dots 0,8 \frac{L_p}{L}$

Для того, щоб зменшити діаметр вальців, їхню поверхню роблять рифленою, де  $L_p$  - загальна робоча довжина ножа.

Діаметр робочої частини диска  $D$  вибираємо в залежності від геометричних параметрів коренебульбоплодів і заданої продуктивності  $D = (0,3 \dots 0,6) \text{м}$

Діаметр неробочої частини диска визначається конструктивними особливостями кріплення диска і ножів,  $d = 0,08 \dots 0,12 \text{ м}$ .

З урахуванням цього визначаємо частоту обертання диска подрібнювача:

$$n = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2) \cdot h \cdot z \cdot \rho \cdot k_3 \cdot k_n}, \text{с}^{-1} \quad (7.38)$$

висота камери подрібнення визначається з урахуванням конструктивних особливостей і складає  $H = (1 \dots 1,5)D, \text{м}$

Потужність на привод подрібнювача витрачається на різання ( $N_1$ ), тертя матеріалу об диск, крилач і стінки камери подрібнення ( $N_2$ ) і надання матеріалу кінетичної енергії ( $N_3$ )

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \text{Вт} \quad (7.39)$$

$$N_1 = g \cdot Rc \cdot L \cdot z \cdot \omega \cdot k_3 \cdot k_n, \text{Вт} \quad (7.40)$$

або 
$$N_1 = g \cdot Rc \cdot L \cdot z \cdot n \cdot k_3 \cdot k_n, \text{Вт} \quad (7.40a)$$

де  $g$  - середня питома сила різання,

$$g = (1,5 \dots 2,0) 10^3 \text{ Н/м};$$

$R_c$  – опосереднений радіус різання,  $R_c = \frac{d+l}{2}$ , м;

$L$  – довжина леза,  $L = \frac{D-d}{2}$ , м  $\cdot \lambda$ .

$$N = N_d + N_k + N_{\delta}, \text{ Вт} \quad (7.41)$$

Потужність, яка витрачається на подолання тертя об верхній диск подрібнювача, визначається за формулою:

$$N_g = M \cdot g \cdot f \cdot R_c \cdot \omega, \text{ Вт} \quad (7.42)$$

$$\text{або} \quad N_g = \frac{\pi D k^2}{4} \cdot H \cdot \rho \cdot k_3 \cdot g \cdot f \cdot R_c \cdot \omega, \text{ Вт} \quad (7.42a)$$

де  $D_k$  - діаметр камери подрібнення,  $D_k$  м;

$H$  - висота камери подрібнення,  $H \approx D$ , м;

Потужність,  $N_k$ , що витрачається на тертя матеріалу об крилач, незначна у порівнянні з іншими, і її можна не враховувати.

Потужність, яка витрачається на подолання тертя об бокову поверхню камери подрібнення при вивантаженні стружки, розрахуємо за формулою:

$$N_{\delta} = \frac{m D^2}{4} \cdot \omega^3 \cdot f, \text{ Вт} \quad (7.43)$$

$$\text{або} \quad \frac{1}{4} Q \cdot t \cdot D^2 \cdot \omega^3 \cdot f, \text{ Вт} \quad (7.43a)$$

де  $t$  - час проходження стружки по стінці камери подрібнення, с:

$$t = \frac{\varphi}{\omega}, \text{ с} \quad (7.44)$$

де  $\varphi$  - сектор, який проходить стружка до вивантаження у вікно (рисунок

7.12). Вона складає приблизно  $\frac{5}{6} \pi$ .

Потужність, яка витрачається на надання матеріалу кінетичної енергії, визначається за формулою:

$$N_3 = \frac{1}{4} Q \cdot \omega^2 D^2, \text{ Вт} \quad (7.45)$$

Загальна потужність на привід подрібнювача:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N \cdot K_n}{\eta}, \text{ Вт} \quad (7.46)$$

де  $\eta$  – ККД механізму привода подрібнювача

$K_n$  – коефіцієнт, який враховує перетирання продукту,  $K_n = 1,2 \dots 1,3$ .

## 8 Машини і обладнання для приготування кормових сумішей

### 8.1 Види кормових сумішей та вимоги до їх приготування

Важливою умовою високоефективного використання кормів при виробництві продуктів тваринництва є годування тварин і птиці кормовими сумішами, збалансованими за поживними речовинами, вітамінами і мікроелементами у відповідності до запланованої продуктивності.

Кормові суміші залежно від типу годівлі і наявності кормів у господарстві можуть бути сухі (вологість до 20%), зволожені (вологість 20-40%), вологі (вологість 40-60%), напіврідкі (вологість 60-80%) і рідкі (вологість більше 80%).

Складовими частинами кормових сумішей можуть бути такі види кормів: фуражне зерно (кукурудзи, ячменю, гороху, сої, пшениці, вівса тощо); стеблові корми (сіно, сінаж, солома, кукурудзяний та інший силос, зелена трава тощо);

коренеплоди і баштанні (буряки, картопля, гарбузи тощо);

побічні продукти цукрової, спиртової, пивоварної промисловостей (жом, меляса, барда, дробина тощо);

різні балансуючі кормові добавки (білкові, мінеральні, вітамінні).

Всім видам тварин і птиці фуражне зерно згодують у складі сухих кормових сумішей – комбікормів, які готуються за спеціальними рецептами.

Основними компонентами комбікормів є зернові (кукурудза, ячмінь, овес, пшениця) і зернобобові (горох, вика, соя), а також відповідно до призначення білково-вітамінно-мінеральні добавки (БВД), які вводяться в дозі від 5 до 15% за масою. Загальні вимоги до комбікормів: вологість не більше 14%, фракції розміром 3 мм не більше 10%, перетравного протеїну не менше 25%, сирової клітковини не більше 8%, піску не більше 0,5%, металевих включень не більше 25 мг/кг, нерівномірність змішування не більше 10% (при масі проби 5 г і частці контрольного компоненту 1%).

У випадку включення до складу БВД трав'яного борошна припускається збільшення клітковини до 0,25% на кожний відсоток введеного борошна, але в сумі не більше 11%.

Відхилення від рецепту у відсотках до загальної ваги комбікорму для інгредієнтів, які входять в комбікорм у кількості більше 30%, не повинні перевищувати  $\pm 1,5\%$ , від 10 до 30% –  $\pm 1,0\%$ ; для інгредієнтів, що входять у кількості до 10% –  $\pm 0,5\%$ , для кожного з видів мінерального корму у кількості менше 3% –  $\pm 0,1\%$ .

Зволожені кормові суміші застосовують при використанні консервованого зерна кукурудзи або плющеного зерна для великої рогатої худоби та свиней і вводять добавки. Це можуть бути також мішанки з концентрованих кормів і подрібнених коренеплодів або зелені для качок, гусей тощо. Вологі розсипні кормові суміші застосовують при силосно-коренеплодному, сінажно-силосному і жомовому типах годівлі корів і підгодівлі молодняку, коли в суміш входить 3–5 і більше компонентів (подрібнені грубі корми і коренеплоди, силос або жом, поживні розчини тощо). Так, до раціону для дійних корів при силосно-коренеплодній годівлі входить приблизно до 30–35% кукурудзяного силосу і

коренеплодів (за вагою), по 8–12% грубих кормів та поживних розчинів, решта – комбікорми (всі або половину при доїнні).

Напіврідкі суміші характерні для годівлі свиней – це 5–30% комбікормів, 8–11% трав'яного або вітамінно-сінного борошна решта – коренеплоди.

Вологі кормові суміші для великої рогатої худоби та свиней, зволожені та вологі кормові суміші для тварин та птиці повинні бути свіжоприготовленими, не мати неприємного запаху. Суміші, що включають подрібнені коренебульбоплоди, після приготування повинні роздаватись не пізніше, ніж через 1,5–2 год. У зимовий період розчини в кормові суміші додають підігрітими.

Рідкі кормові суміші – це розчин комбікормів у воді в пропорції 1 : 3, різноманітні напої, у тому числі й замітники молока.

Поживні розчини або воду вводять у складні суміші в кількості, необхідній для отримання заданої вологості суміші, регулюючи при цьому концентрацію введених у розчин поживних речовин і мікроелементів. Це може бути також клітковий сік, відвійки тощо. У порційні змішувачі порцію розчину подають, виходячи з часу роботи насоса і його продуктивності. У змішувачі безперервної дії встановлюють продуктивність подачі розчину так, щоб забезпечити в суміші його частку, задану рецептом.

Особливістю приготування вологих кормових сумішей для великої рогатої худоби є переробка великих об'ємів грубих кормів, силосу і коренеплодів. Грубі корми і силос подрібнюють до частинок довжиною 10–50 мм із розчепленням стебел уздовж волокон. Для кожного виду тварин корми обов'язково подрібнюють до оптимальних розмірів (таблиці 8.1).

Таблиця 1.1-Ступінь подрібнення кормів

Вид корму	Розмір частинок подрібненого корму, мм, для:		
	корів	свиней	овець
Грубі (сіно, солома)	30–50	1–3	20–30
Силосовані і зелені	10–50	10–15	10–50
Коренеплоди	До 15	5–10	До 15
Зернові	1–1,6	0,2–0,9	1–1,6

Кількість частинок вказаного розміру у загальній масі корму повинна становити не менше 85%

Основними операціями при приготуванні кормових сумішей є дозування і змішування їх складових.

## 8.2 Обладнання для дозування кормів

### 8.2.1 Загальні відомості

Сучасна технологія виробництва продукції тваринництва неможлива без використання пристроїв, які називаються дозаторами. Їх застосовують для приготування кормових сумішей, у процесі одержання, а також переробки продукції тощо.

Дозування – це процес відмірювання заданої кількості матеріалу (порції) з потрібною точністю, яка визначається зоотехнічними, технологічними і

економічними вимогами. Пристрої для автоматичного відмірювання чи зважування сипучих, рідких або газоподібних речовин називають дозаторами.

Під час роботи дозатори повинні виконувати такі функції: забезпечити видачу заданої кількості матеріалу з необхідною точністю; забезпечити видачу безперервним потоком з метою підтримки заданої подачі матеріалу, що видається за відповідний проміжок часу; забезпечити задану видачу одного з вихідних компонентів суміші.

Основними показниками роботи дозаторів, які характеризують їх придатність до виконання технологічних операцій, є такі: пропускна здатність (продуктивність), з можливістю її регулювання в необхідних для технологічного процесу межах і нерівномірність подачі або точність дозування.

Нерівномірність подачі визначається середньоквадратичним відхиленням потоку і коефіцієнтом варіації.

Середньоквадратичне відхилення за фіксований час визначається за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (q_i - \bar{q})^2}{n - 1}} \quad (8.1)$$

де  $q_i$  – маса порцій компонента, які відібрані за відповідний час;

$\bar{q}$  – маса середньоквадратичної порції;

$n$  – кількість відібраних порцій.

Коефіцієнт варіації середньоквадратичного відхилення визначається за формулою (4):

$$v = \frac{\sigma}{\bar{q}} \cdot 100, \quad \% \quad (8.2)$$

При дозуванні складових частин комбікорму допускаються такі відхилення величини доз кожного від заданої за рецептом у відсотках від заданої маси всіх компонентів:

- компонентів, кількість яких не перевищує 30% – до  $\pm 1.5\%$ ;
- компонентів, кількість яких становить  $\pm 1...30\%$  – до  $\pm 1\%$ ;
- компонентів, кількість яких становить  $3...10\%$  – до  $\pm 0.5\%$ ;
- компонентів, кількість яких становить менше 3% – до  $\pm 0.1\%$ .

При дозуванні подрібненої соломи та сіна відхилення не повинно перевищувати  $\pm 5\%$ .

При дозуванні мікро добавок та їх сумішей окремими мікро дозаторами допускається відхилення  $\pm 3\%$  від їх продуктивності.

Правильність роботи дозаторів перевіряють шляхом відбору продукту від кожного дозатора при роботі його протягом 15...30 с.

### **8.2.2 Класифікація дозаторів**

Відомі два способи дозування матеріалів – об'ємний і масовий, в окремих випадках використовують змішаний спосіб, який передбачає попереднє відмірювання порції за об'ємом, а потім її маса доводиться до заданої кількості на ваговому (масовому) пристрої.

За тим, як проходить процес, дозування може бути порційним або безперервним. У залежності від прийнятого способу дозування дозатори

поділяються на об'ємні або вагові з порційною чи безперечною видачею матеріалу.

Класифікацію дозаторів наведено на рисунку 8.1.

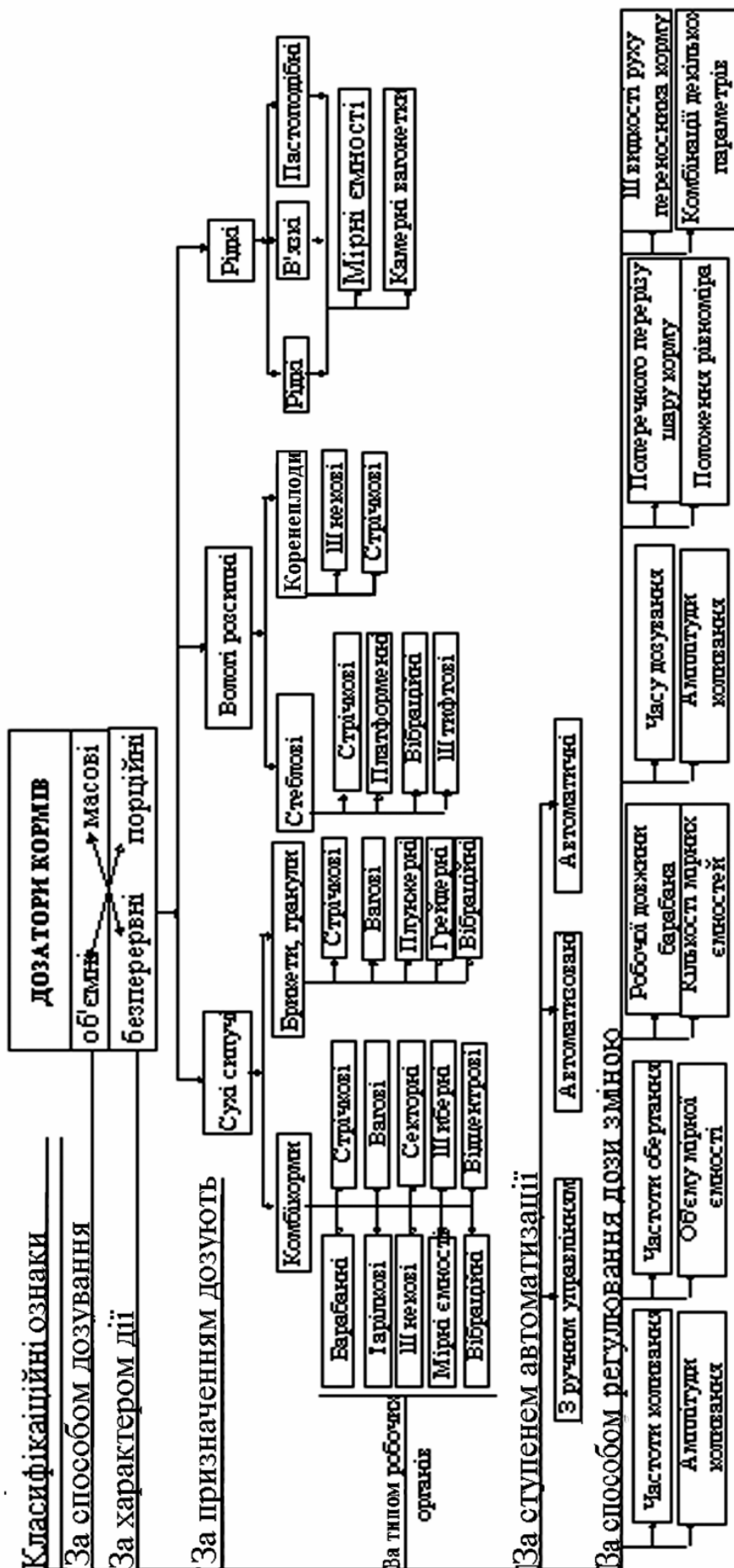
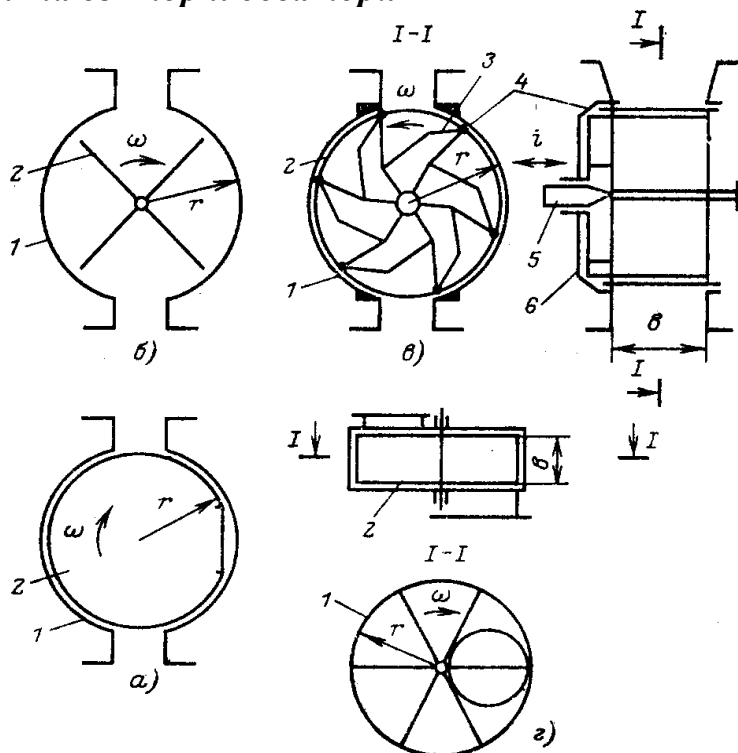


Рис 8.1 . Класифікація дозаторів кормів

### 8.3 Об'ємні дозатори безперервної дії

У тваринництві найбільшого поширення набули дозатори безперервної дії. Ці дозатори досить прості за будовою, обслуговуванням, надійні в роботі і забезпечують достатню точність дозування. Вибір типу робочого органа залежить від фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів, які необхідно дозувати, а також якої точності дозування необхідно досягти. Далі наведено схеми дозаторів, які найбільше використовуються в механізації тваринництва.

#### 8.3.1 Барабанні та секторні дозатори



Барабанні та секторні дозатори (рисунок 8.2) використовують для сипучих матеріалів і встановлюють під випускними горловинами бункерів – накопичувачів. Одним із різновидів барабанних дозаторів є секторні дозатори.

Рисунок 8.2 - Барабанні та секторні дозатори: а – барабанний; б – секторний; в – секторний, в якому змінюється геометрія; г – лопатевий; 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – поворотна лопать ротора; 4 – вісь; 5 – регулюючий конус; 6 – повідок

Продуктивність барабанного дозатора визначається за формулою

$$Q = F_{ж} \cdot l \cdot z \cdot n_c \cdot \rho \cdot \varphi, \text{ кг/с} \quad (8.3)$$

де  $F_{ж}$  – площа поперечного перерізу жолобка (сектора),  $m^2$ ;

$l$  – довжина робочої частини жолобка, м;

$z$  – кількість жолобків;

$n_c$  – частота обертання барабана,  $s^{-1}$ ;

$\rho$  – щільність матеріалу,  $кг/м^3$ ;



$\varphi$  – коефіцієнт заповнення жолобків ( $\varphi=0.8\dots0.9$ ).

Регулювання продуктивності барабанного дозатора можна здійснювати, змінюючи площу поперечного перерізу жолоба, його довжину і частоту обертання барабана.

Потужність, що витрачається на привод барабанного дозатора, визначається в основному тертям матеріалу, який захоплюється барабаном, об шари матеріалу, що лежать вище нього.

$$N_d = f \cdot p \cdot F_6 \cdot v \cdot k_1, \text{ Вт} \quad (8.4)$$

де  $f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя в матеріалі;

$p$  – тиск матеріалу на поверхню барабана, Па;

$F_6$  – площа поперечного перерізу горловини бункера над барабаном,  $m^2$ ;

$v$  – колова швидкість барабана, м/с;

$k_1$  – коефіцієнт, який враховує витрати енергії на можливе подрібнення матеріалу під час обертання барабана ( для порошкових матеріалів  $k_1=1$ , для шматкових  $k_1=2$ ).

Потужність двигуна розраховується за формулою:

$$N_{дв} = N_d \cdot k_2 / \eta \cdot \eta_{дв}, \text{ Вт} \quad (8.5)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує втрати потужності на тертя в робочих органах ( $k_2=1.1\dots1.2$ );

$\eta$  – ККД передачі;

$\eta_{дв}$  – ККД двигуна.

При проектуванні дозатора вибирається схема дозатора, його геометричні параметри, а потім визначаються кінематичні.

### 8.3.2 Стрічкові дозатори

Стрічкові дозатори (рисунок 8.3) використовують для дозування добре і поганосипучих матеріалів. З боків стрічки встановлюють огородження, яке разом зі стрічкою створює жолоб, яким рухається матеріал. Висота шару матеріалу в жолобі обмежується заслінкою. Швидкість руху стрічки повинна бути у межах 0.1...0.5 м/с.

При дозуванні поганосипучих кормів (подрібненої соломи, сіна, силосу тощо) товщину шару матеріалу регулюють бітерами або ортерами, які також встановлюються над стрічкою (рисунок 8.4).

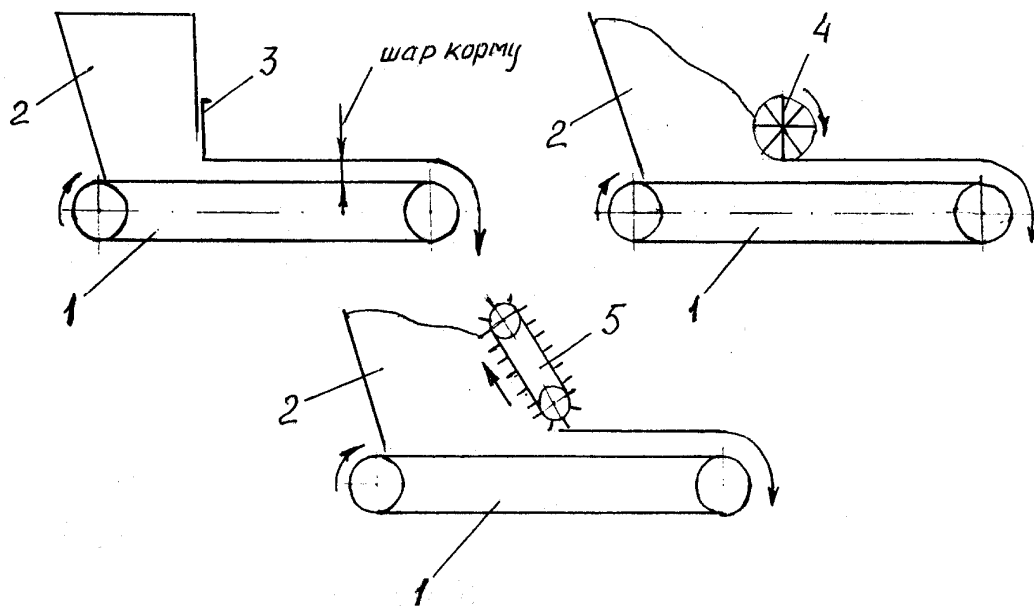


Рисунок 8.3 - Схеми стрічкових дозаторів: 1 – транспортер; 2 – бункер; 3 – заслінка; 4 – бітер; 5 – зчісууючий транспортер

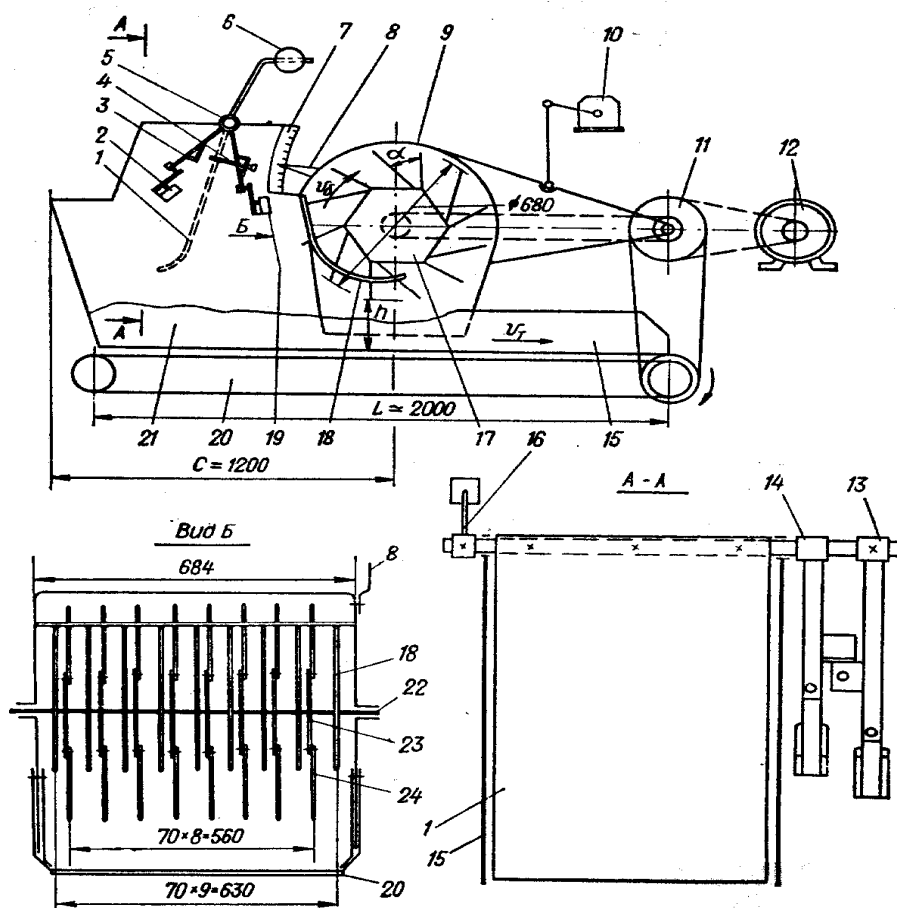


Рисунок 8.4 – Стрічковий дозатор із барабанним вирівнювачем для подрібнених стеблових кормів: 1 – пластина; 2, 19 – перемикачі; 3 – механізм управління; 4 – упор із регулюванням; 5 – вісь; 6 – протизвага; 7 – шкала; 8 – стрілка; 9 – корпус; 10 – механізм переміщення корпусу 9; 11 – шків; 12 – електродвигун; 13, 14, 16 – важелі; 15 – боковини; 17 – пальцевий барабан; 18 –

гребінка; 20 – транспортер; 21 – приймальний бункер; 22 – вал; 23 – диски; 24 – пальці

Продуктивність стрічкових дозаторів визначають за формулою:

$$Q = b \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot k, \text{ кг/с} \quad (8.6)$$

де  $b$  – ширина жолоба, м;

$h$  – товщина шару матеріалу на стрічці, м;

$v$  – швидкість руху стрічки, м/с;

$k$  – коефіцієнт заповнення жолоба ( $k=0.75\dots 0.8$ ).

Регулюють продуктивність дозатора, змінюючи товщину шару  $h$  за допомогою заслінки або іншого засобу, а також змінюючи швидкість руху стрічки.

Потужність на привод стрічкового дозатора визначається за формулою:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \text{ Вт} \quad (8.7)$$

де  $N_1$  – витрати потужності на переміщення корму, Вт;

$N_2$  – витрати потужності на подолання тертя корму об бокові стінки жолоба, Вт;

$\eta$  – ККД механізму привода.

$$N_1 = Q \cdot g(0.2L + H) \cdot k_{\sigma}, \text{ Вт} \quad (8.8)$$

де  $L$  – відстань між осями барабанів, м;

$H$  – висота підйому продукту (для похилих дозаторів), м;

$k_{\sigma}$  – коефіцієнт, який враховує втрати потужності на опір барабанів, опір стрічки тощо,  $k_{\sigma}=1,2$ .

$$N_2 = h^2 \cdot g \cdot \rho \cdot f \cdot k_p \cdot v, \text{ Вт} \quad (8.9)$$

де  $h$  – товщина шару продукту, м;

$l$  – довжина стінок жолоба, м;

$f$  – коефіцієнт тертя корму об стінки;

$v$  – швидкість руху стрічки, м/с;

$k_p$  – коефіцієнт рухомості корму.

$$k_p = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'}, \quad (8.10)$$

де  $\varphi'$  – кут природного нахилу корму, рад.

### 8.3.3 Шнекові дозатори

Шнекові дозатори (рисунки 8.5) використовують для дозування практично для всіх видів кормів за винятком стеблових. Вони можуть працювати як в горизонтальному, так і в похилому положеннях.

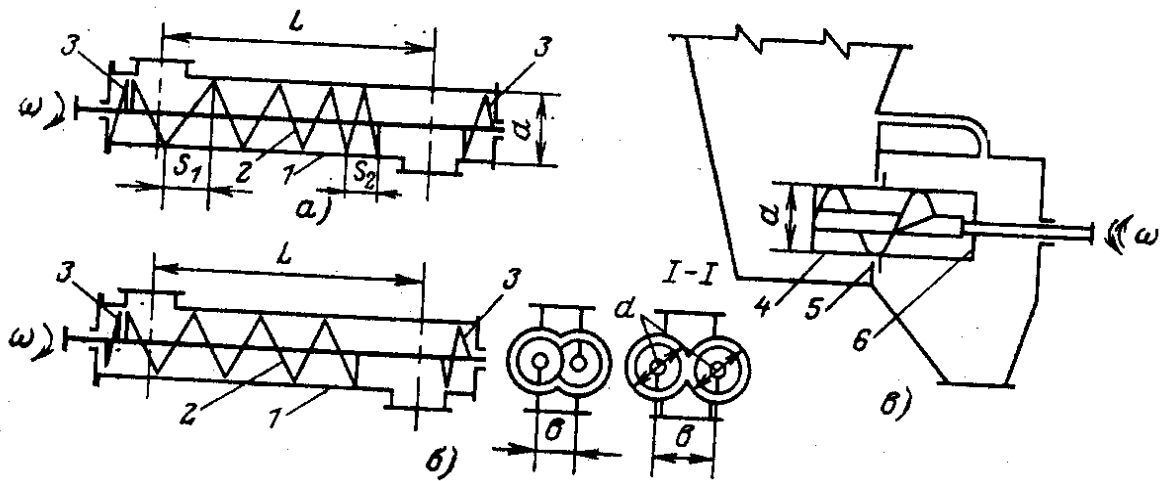


Рисунок 8.5 - Схеми шнекових дозаторів: а – одновальний; б – двовальний; в – гвинтовий канал; 1 – корпус; 2 – гвинт (шнек); 3 – обернені лопаті; 4 – гвинтовий канал; 5 – ущільнення; 6 – діафрагма

За конструктивним виконанням вони можуть бути з одним гвинтом і подвійними, постійним і змінним кроком.

Продуктивність шнекових дозаторів визначається за формулою:

$$Q = \frac{D^2 - d^2}{8} \cdot S \cdot \omega \cdot \rho \cdot k, \text{ кг/с} \quad (8.11)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр кожуха шнека, м;

$d$  – діаметр вала шнека, м;

$S$  – крок шнека, м;

$k$  – коефіцієнт заповнення шнека,  $k=0.8 \dots 0.95$ .

Зміну продуктивності шнекового дозатора у залежності від його конструкції проводять зміною кутової швидкості, кроку, а також заслінкою над вхідним створом шнека.

Потужність на привод дозатора визначають за формулою:

$$N = \frac{Q \cdot g \cdot (L_{ш} \cdot k + H) \cdot K_T}{\eta}, \text{ кВт} \quad (8.12)$$

де  $L_{ш}$  – горизонтальна проекція робочої довжини шнека, м;

$k$  – коефіцієнт опору переміщення корму в корпусі шнека;

$H$  – висота підйому корму, м;

$K_T$  – коефіцієнт, який враховує втрати потужності на тертя робочих органів,  $k=1.1 \dots 1.2$ ;

$\eta$  – ККД механізму приводу.

### 8.3.4 Дисківі та тарілкові дозатори

Дисківі та тарілкові дозатори (рисунки 8.6 і 8.7) призначені для видачі із бункерів малозернистих, малошматкових і порошкових матеріалів. Вони становлять собою плоску таріль, яка встановлена під бункером і обертається приводом. Між бункером і таріллю встановлюються рухома та нерухома манжети та ніж. За периметром тарілі встановлені огороження з вікном у місці розміщення ножа. Корм із бункера просипається на таріль і утворює на ній насипний конус матеріалу, частина якого при обертанні тарілі скидається ножом у вікно.

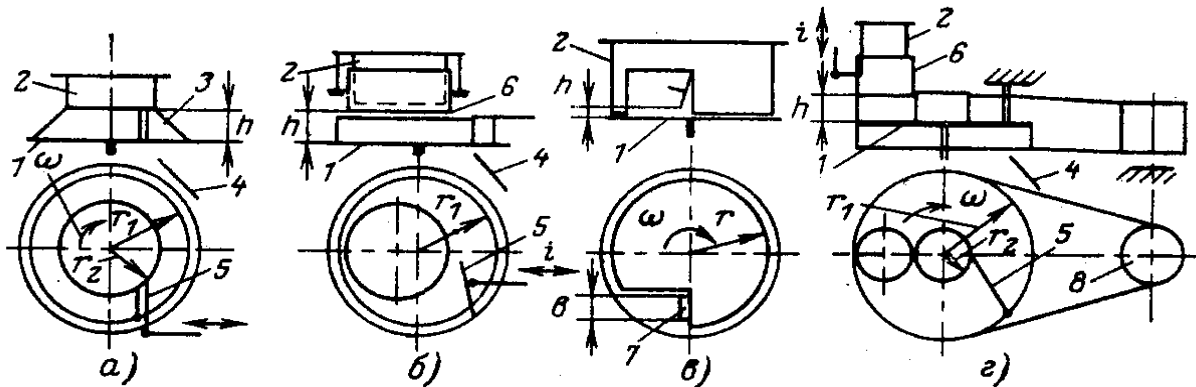


Рисунок 8.6 - Схеми тарілкових і дисківих дозаторів: а – з нерухомою конусною манжетою; б – з ексцентричною рухомою манжетою; в – з патрубком і обертовою заслінкою; г – з ексцентричною рухомою манжетою і гнучкою стінкою; 1 – таріль; 2 – циліндричний патрубок; 3 – конусна манжета; 4 – лоток; 5 – ніж; 6 – рухома манжета; 7 – заслінка; 8 – шків

Розрахунок основних параметрів дисківих дозаторів визначають згідно з розрахунковою схемою (рисунок 8.7).

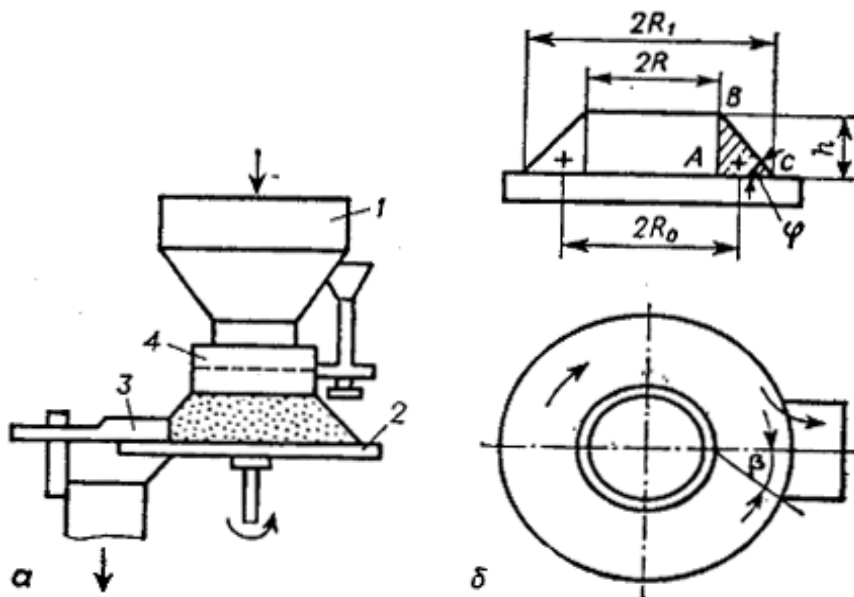


Рисунок 8.7 - Розрахункова схема дозатора: а – схема дозатора; б – розрахункова схема; 1 – бункер; 2 – таріль; 3 – ніж(скребок); 4 – рухома манжета

Продуктивність дискового дозатора визначається за формулою:

$$Q = \frac{V_k \cdot \rho \cdot \omega}{2\pi}, \text{ кг/с} \quad (8.13)$$

де  $V_k$  – об'єм матеріалу, що скидається з тарілі за один оберт, об'єм кільця,  $\text{м}^3$ .

$$V_k = 2\pi R_0 \cdot F_k, \text{ м}^3 \quad (8.14)$$

де  $R_0$  – відстань від осі обертання до центра тяжіння перерізу кільця, м;  
 $F_k$  – площа поперечного перерізу кільця,  $\text{м}^2$

При цьому

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi} \quad (15) \quad \text{і} \quad F_k = \frac{h^2}{2 \operatorname{tg} \varphi} \quad (8.15)$$

Кінцевою формулою продуктивності дозатора буде:

$$Q = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot \omega}{2 \operatorname{tg} \varphi} \left( R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi} \right), \text{ кг/с} \quad (8.16)$$

де  $\varphi$  – кут природного нахилу матеріалу, рад.

Гранична швидкість обертання тарілі визначається з умов, що відцентрова сила інерції менша за силу тертя:

$$m \cdot R_1 \cdot \omega_{\text{кр}}^2 \leq m \cdot g \cdot f.$$

Звідси

$$\omega_{\text{кр}} \leq \sqrt{\frac{f \cdot g}{R_1}}, \text{ с}^{-1} \quad (8.17)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу по тарілі;

$R_1$  – максимальний радіус обертання часток, м.

Витрати енергії на привод дозатора визначаються опором на переміщення корму по тарілі і терті його по скребку.

Сила тертя, що виникає при русі корму по тарілі, складає

$$F_T = mgf = F_k \cdot L \cdot \rho \cdot g \cdot f, \text{ Н} \quad (8.18)$$

де  $L$  – довжина кільця, що переміщує скребок, м.

Потужність на подолання цього опору визначається за формулою:

$$N_1 = F_T \cdot v, \text{ Вт} \quad (8.19)$$

де  $v$  – швидкість руху матеріалу, м/с:

$$v = \omega \cdot R_0, \text{ м/с} \quad (8.20)$$

Потужність, необхідна для подолання опору тертя об скребок, залежить від кута його установки  $\beta$ :

$$N_2 = N_i \cdot \cos\beta \quad (8.21)$$

Загальна потужність на привод дозатора буде:

$$N = N_1 + N_2 + N_{x.x.} = N_1(1 + \cos\beta) + N_{x.x.}, \text{ Вт} \quad (8.22)$$

де  $N_{x.x.}$  – витрати потужності на холостий хід, Вт.

### 8.3.5 Відцентрові дозатори

Рушійною силою для переміщення матеріалу із зони живлення в зону видачі дозатора є відцентрова сила, яка виникає при обертанні робочого органа. У зв'язку з тим, що величина цієї сили зростає під час руху потоку матеріалу за рахунок збільшення радіусу обертання, зростають швидкість руху матеріалу і його щільність. Це призводить до збільшення нерівномірності дозування.

У відцентровому дозаторі конструкції ХДТУСГ (рисунок 8.8) цей недолік ліквідовано за рахунок спеціальної геометрії робочих каналів. Переріз робочих каналів по всій їх довжині залишається незмінним (в інших конструкціях вона збільшується), а кривизна їхньої поверхні забезпечує постійну швидкість руху потоку матеріалу.

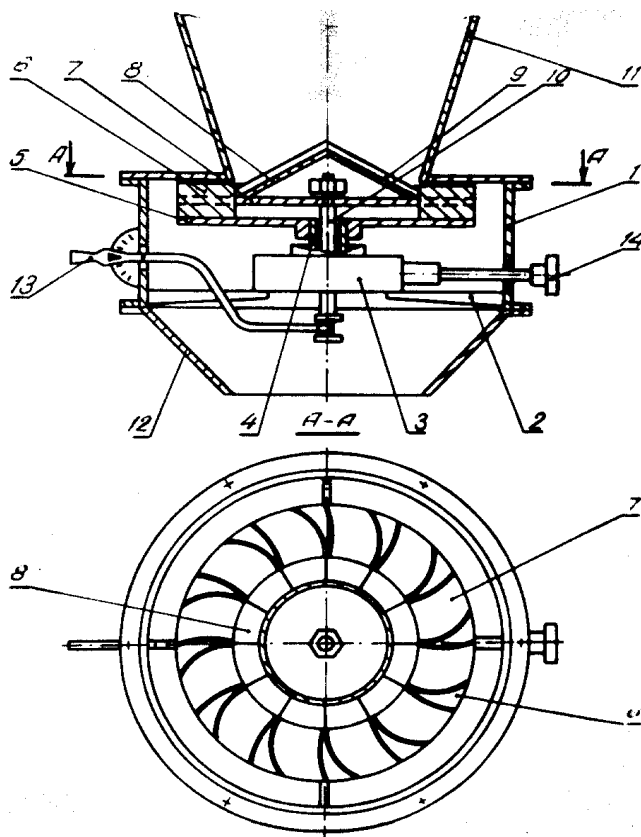


Рисунок 8.8 - Конструктивна схема ротаційного дозатора: 1 – корпус; 2 – кронштейни; 3 – редуктор; 4 – трубчатий вал; 5 – дозуючий диск; 6 – направляючі елементи; 7 – рухоме дно; 8 – подаючий конус; 9 – лопаті; 10- рухомий вал; 11 – наддозаторний бункер; 12 – збиральний конус; 13 – регулювальна рукоятка; 14 – приводний вал редуктора

Продуктивність дозатора регулюється зміною поперечного перерізу робочої частини каналів за допомогою рухомого дна і визначається за формулою:

$$Q = l \cdot h \cdot n \cdot v_B \cdot \rho \cdot k, \text{ кг/с} \quad (8.23)$$

де  $l$  і  $h$  – ширина і висота робочого каналу, м;

$n$  – кількість робочих каналів;

$v_B$  – відносна швидкість руху матеріалу,  $v=0.1 \dots 1.0$  м/с;

$\rho$  – щільність матеріалу,  $\text{кг/м}^3$ ;

$k$  – коефіцієнт заповнення об'єму каналу,  $k=0.85 \dots 0.95$ .

Початковий радіус розміщення робочих каналів визначається за формулою:

$$r_0 = \frac{l \cdot h}{2\pi}, \text{ м} \quad (8.24)$$

Мінімальна і максимальна кутова швидкість обертання робочого диска, при якій можливий стійкий процес дозування, визначається з нерівностей:

$$\omega_{\min} \geq \frac{f \cdot V_B + \sqrt{f^2 \cdot V_B^2 + r_0 \cdot f \cdot g}}{r_0}, \text{ с}^{-1} \quad (8.25)$$

$$\omega_{\max} \leq \frac{2 \left[ f \cdot V_B + \sqrt{f^2 \cdot V_B^2 + g \cdot (x_0 + x) \cdot \sin 2\beta \cdot \cos \beta} \right]}{(x_0 + x) \cdot \sin 2\beta}, \text{ с}^{-1} \quad (8.26)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні робочого каналу;

$x_0 + x$  – довжина утворюючого конуса,  $x_0 + x = \frac{r_0}{\cos \beta}$ , м;

$\beta$  – кут утворюючого конуса,  $\beta = \arctg \phi$ ,  $\tg \phi = f$ .

Радіус кривизни робочого каналу визначаємо за формулою:

$$r = \sqrt{\left( \frac{2V_B^2}{\omega^2} + \frac{gV_B}{\omega^3} + r_0^2 \right) \cdot e^{2f\omega t} - \frac{2V_B^2}{\omega^2} - \frac{gV_B}{\omega^3}}, \text{ м} \quad (8.27)$$

де  $t$  – час руху матеріалу по каналу, с.

Визначення необхідної потужності для приводу дозатора знаходимо за формулою:



$$N_{дв} = \frac{Q \cdot \omega (V_2 \cdot r_2 \cdot \cos \psi_2 - V_1 \cdot r_1 \cdot \cos \psi_1) + f_{вн} \cdot \gamma \cdot H \cdot S_0 \cdot V_{ш}}{\eta_k \cdot \eta_{дв}}, \text{Вт} \quad (8.28)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – абсолютні швидкості руху потоку матеріала на вході і виході з каналу, м/с;

$r_1$  і  $r_2$  – відстань (радіуси) від осі обертання до початку і кінця робочих каналів, м;

$\psi_1$  і  $\psi_2$  – кути між напрямком абсолютних швидкостей  $V_1$  і  $V_2$  і дотичних до кіл з радіусами  $r_1$  і  $r_2$  відповідно, рад;

$f_{вн}$  – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу, що дозується;

$\gamma$  – питома вага матеріалу,  $\text{Н/м}^2$  ;

$S_0$  – площа основи конуса,  $\text{м}^2$  ;

$V_{ш}$  – відносна швидкість між шарами матеріалу, який дозується, м/с.

### 8.3.6 Вібраційні лоткові дозатори

Вібраційні лоткові дозатори використовуються для дозування різних матеріалів. Рух матеріалу по похилому лотку забезпечується за рахунок створення коливань, які мають напрям під кутом до дна лотка. Коливання можуть бути створені електромагнітними, дебалансними, ексцентрикними, пневматичними, кулачковими та іншими вібраторами.

Вібраційний дозатор (рисунок 8.9) встановлюється під бункером і складається з рухомого лотка із задвижкою і вібратора. Кут установки дна лотка повинен бути меншим за кут внутрішнього тертя корму, тому при відсутності вібрації витікання корму лотком неможливе. При вмиканні вібратора лоток починає коливатися, і вібраційна сила переміщує матеріал лотком.

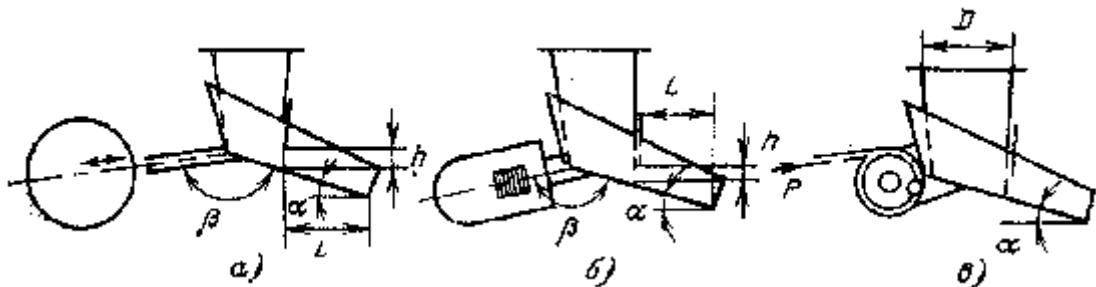


Рисунок 8.9 - Вібраційні лоткові дозатори: а – ексцентрикні; б – електромагнітні; в – пневматичні

Перевагою таких дозаторів є те, що вони досить прості за будовою і регулюванням, витрати енергії на їхню роботу значно менші в порівнянні з іншими типами дозаторів, досить висока точність дозування (до  $\pm 1.5\%$ ).

Продуктивність дозатора визначається за формулою:

$$Q = k \cdot b \cdot h \cdot A \cdot \omega, \text{ кг/с} \quad (8.29)$$

де  $k = f(\rho, \beta, \varphi)$ , залежить від конструктивних особливостей дозатора і фізико-механічних властивостей корму:

$b$  – ширина лотка, м;

$A$  – амплітуда коливання лотка, м;  
 $\varphi$  – кут внутрішнього тертя корму, рад.

Продуктивність дозатора можна регулювати кутом нахилу лотка, висотою його установки ( $h$ ), а також амплітудою і частотою коливань.

## **8.4 Обладнання для змішування кормів**

### **8.4.1 Загальні відомості**

Важливою умовою високоефективного використання кормів при виробництві продукції тваринництва є годування тварин і птиці повноцінними кормовими сумішами, збалансованими за поживними речовинами, вітамінами і мікроелементами у відповідності до запланованої продуктивності. Особливе місце при цьому відводиться якості змішування кормової суміші, яка прямою мірою впливає на продуктивність тварин і птиці. Тому оцінка якості роботи змішувачів необхідна як при їхній експлуатації, так і при проектуванні нових.

Змішування - це такий механічний процес, у результаті якого компоненти, які початково знаходяться роздільно, після рівномірного розподілення кожного із них у змішуваному об'ємі матеріалу утворюють однорідну суміш. В ідеальному варіанті це така суміш, коли в кожній її точці до кожної частинки одного із компонентів прилягають частинки інших компонентів у кількості, зумовленій заданим співвідношенням компонентів.

Однорідність суміші, яка складається із різних сипучих матеріалів, оцінюється статистичними методами за результатами аналізу проб, взятих із суміші. Із математичної статистики відомо, що найбільш просто статистичний матеріал аналізується за однією випадковою величиною (закони для систем декількох випадкових величин значно складніші і на практиці використовуються надзвичайно рідко). Якість змішування також визначають за однією випадковою величиною – так званим контрольним компонентом, який у заданій пропорції додають у суміш. Відбираючи проби в необхідному об'ємі і кількості за одним із відомих критеріїв, визначають якість змішування.

Для оцінки якості змішування запропоновано більше 20 критеріїв, які базуються на аналізі проб, узятих із суміші, і відрізняються способами обробки результатів аналізу.

Аналіз критеріїв якості змішування показав, що найпоширенішим методом контролю є статистичний метод. Досліди, проведені різними дослідниками, показали, що численні величини ступеню однорідності, знайдені цим методом, змінюються у залежності від розміру проб, їхньої кількості, а також від відносного вмісту контрольного компонента у суміші. Всі ці фактори взяті разом або окремо кожний, можуть чинити істотний вплив на оцінку якості змішування; тому, щоб виключити вплив цих небажаних факторів, ученими кафедри “Механізація тваринницьких ферм” ХНТУСГ ім. Петра Василенка запропоновано ступінь однорідності змішування визначати у такій послідовності:

- за даними серії дослідів обчислюємо середнє значення вмісту контрольного компонента у суміші:

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{I=1}^n g_I, \quad (8.40)$$

де  $g_I$  – маса контрольного компонента в  $i$ -тій пробі;

$n$  – кількість відібраних проб;

- знаходимо відхилення середньої величини вмісту контрольного компонента від заданої величини компонента:

$$\chi = \left| g_3 - \bar{g} \right|; \quad (8.41)$$

- ступінь однорідності обчислюємо за таким співвідношенням:

$$W = \frac{g_3 - \chi}{g_3}. \quad (8.42)$$

Запропонований критерій оцінки якості змішування сипучих матеріалів є досить простим і надійним, який дозволяє швидко знаходити числові значення однорідності суміші і не залежить від розміру проб.

Процес змішування можна вважати завершеним у тому випадку, коли в суміші дійсна кількість комбікорму і концентратів складає 97% ( $v=3\%$ ), соковитих – 93% ( $v=7\%$ ), рідких і води – 95% ( $v=5\%$ ) і мінеральних добавок – 98% ( $v=2\%$ ) від заданої у рецепті. У виробничих умовах кормоцехів без особливого негативного впливу на продуктивність тварин достатньо одержати ступінь однорідності, який наведено в таблиці 8.2.

Таблиці 8.2 - Ступінь однорідності кормових сумішей, яка відповідає зоотехнічним вимогам

Призначення суміші	Ступінь однорідності
Суміші для:	
поросят у віці до 4 місяців	93
свиней усіх груп, старших 4 місяців	85-90
птахів	90
великої рогатої худоби	84-88
комбікорми власного виробництва для всіх видів тварин	90-95

#### 8.4.2 Основи теорії змішування

З аналізу кінетики змішування (розвиток процесу в часі) витікає, що процес змішування проходить у три етапи (рисунок 8.10):

I – конвективне змішування, при якому швидкість процесу майже не залежить від фізико-механічних властивостей змішуваних матеріалів;

II – дифузійне змішування, при якому швидкість процесу дещо уповільнюється у результаті поступового перерозподілу частинок через свіжоутворені межі їх розподілу;

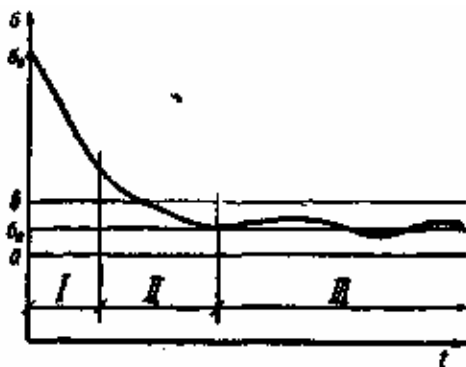
III – стан завершення змішування, коли процес перебуває у смузі  $aB$ , показники змінності коливаються в деяких межах цієї смуги. Останнє залежить від розмірів змішуваних частинок, параметрів робочих органів змішувачів

тощо. Подальше перемішування не покращує якості суміші, оскільки показники змінності досягли своєї нижньої межі (середньоквадратичне відхилення  $\sigma \approx \sigma_a$ ).

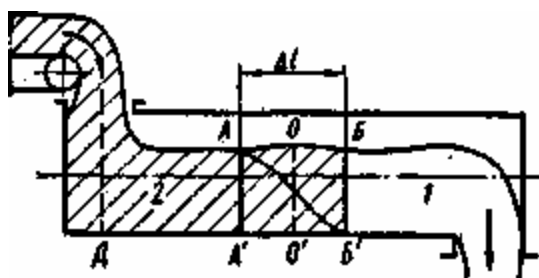
Слід відзначити, що процес змішування протікає швидше і стійкіше у випадку змішування однорідних матеріалів. І навпаки, при змішуванні матеріалів з частинками різних розмірів і неоднакових за щільністю процес протікає повільніше (етап II) і менш стабільно (етап III). Усе це вказує на те, що зі зменшенням середнього розміру змішуваних частинок якість змішування покращується, тобто для одержання більш однорідної суміші необхідне відповідне подрібнення компонентів.

На якість змішування впливають також інші фактори. Чим ближчі у змішуваних компонентів фізико-механічні властивості, тим ефективніше протікає процес їхнього змішування. Значна різниця у розмірах і щільності сприяє розділенню частинок. При змішуванні сухих компонентів із вологими зростання відносної вологості до 14–15% сприяє підвищенню рівномірності суміші. Подальше збільшення вологості вимагає збільшення часу змішування.

Обсяг фактичного перемішування  $V_{\text{фб}}$  у змішувачів безперервної дії – величина змінна, чисельно завжди менша від об'єму змішувача і місткості, яку займає корм у змішувачі ( $V_{\text{фб}} < V$ ). Щоб пояснити фізичну суть цього, зробимо такий дослід. Спочатку в змішувач безперервної дії завантажують «білий» компонент 1, а потім, не перериваючи потоку, почнемо подавати «чорний» 2 (рисунок 8.11). При безперервній подачі компонента 2 створюються умови витіснення, а під дією робочих органів змішувача в зоні АБ відбудеться перерозподіл частинок одного компонента в іншому, зона АБ буде зміщуватись до вивантажувального вікна. До моменту вивантаження перемішування компонентів повинно бути завершено. Цим визначається необхідна довжина змішувача і тип робочого органа. Зона АБ (тобто  $\Delta l$ ) може змінюватись залежно від конструкції робочих органів, режимів змішування і фізико-механічних властивостей змішуваних матеріалів, однак малоімовірно, щоб при безперервній подачі компонента 2 частинки компонента 1 могли б потрапити за межі АА, наприклад до Д, розміщуючись за половиною робочої довжини змішувача. Довжина відрізка  $\Delta l$  обмежує об'єм фактичного перемішування для даного змішувача і складу суміші. Крива АБ вказує на концентрацію компонента 2 на початку перемішування.



8.10 - Характер зміни  $\sigma$  залежно від тривалості змішування компонентів



8.11 - Схема розподілу компоненту 2 в компоненті 1 у змішувачі безперервної дії

Знаючи довжину відрізка  $\Delta l$  для конкретного змішувача за поведінкою спеціально введеного контрольного компонента, площу поперечного перерізу корпусу змішувача  $F$  і коефіцієнт заповнення  $\varphi$ , можна легко підрахувати  $V_{\text{фп}}$ . Визначити  $V_{\text{фб}}$  з деяким наближенням можна також за формулою:

$$V_{\text{фб}} = \frac{Q\Delta l_{\text{н}}}{\rho_{\text{с}}} \quad (8.43)$$

де  $Q$  – продуктивність змішувача, кг/с;

$\Delta l_{\text{н}}$  – тривалість змішування (проміжок часу від появи контрольного компонента до максимального його значення), с;

$\rho_{\text{с}}$  – насипна щільність суміші, кг/м<sup>3</sup>.

#### 8.4.3 Класифікація змішувачів

Існують різні конструкції змішувачів кормів, які можна класифікувати на декілька груп за такими ознаками: за принципом дії – безперервної та періодичної дії; за розміщенням робочих органів – із горизонтальним, похилим і вертикальним розміщенням робочих органів; за конструкцією робочих органів – шнекові, лопатеві, барабанні, пропелерні і комбіновані; за видом суміші, яку готують – для сухих, вологих, тістоподібних і рідких кормів (рисунок 8.12)

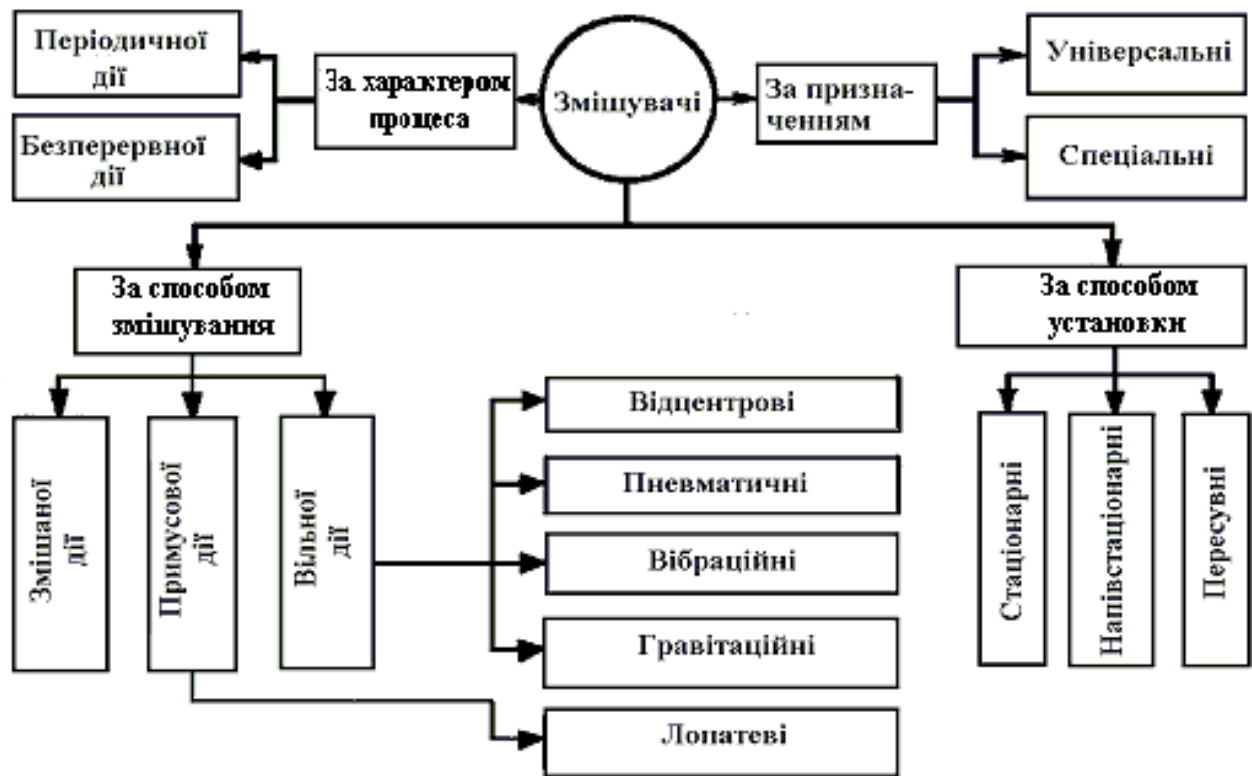


Рисунок 8.12 – Класифікація змішувачів кормів

Основні типи змішувачів показано на рисунку 8.13

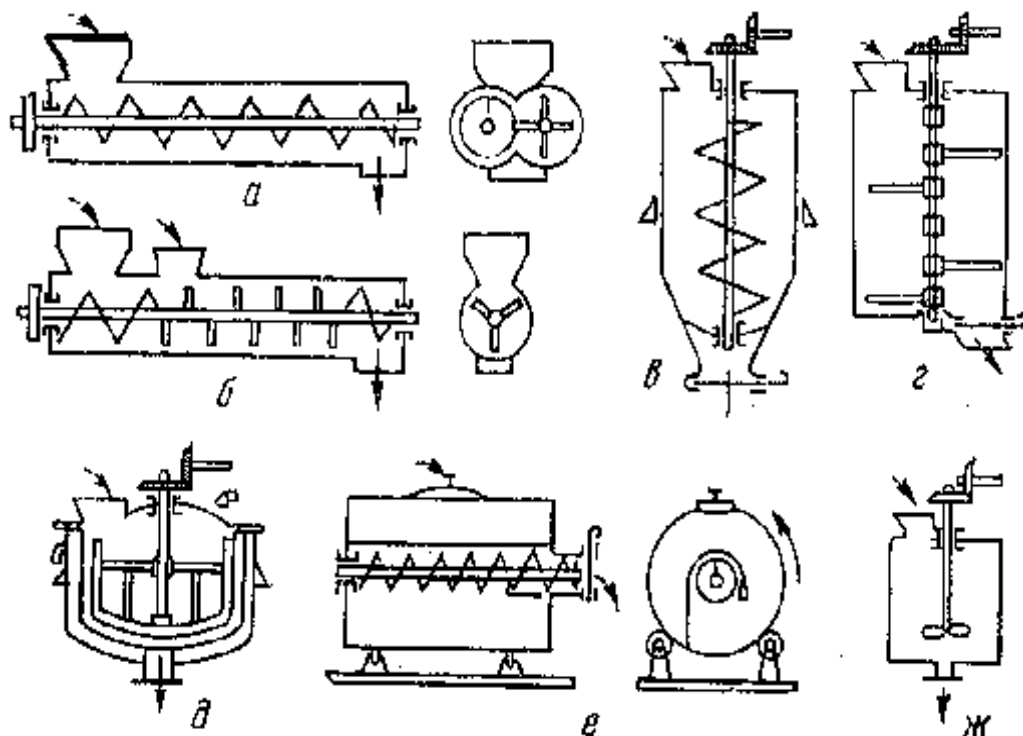


Рисунок 8.13 - Схеми змішувачів кормів, б – шнекові горизонтальні безперервної дії; в – шнековий вертикальний періодичної дії; г, д – лопатеві періодичної дії; е – барабанний періодичної дії; ж – пропелерний

Конструкції робочих органів змішувачів залежать від фізико-механічних і технологічних властивостей змішуваних компонентів і виготовляються у вигляді шнеків, лопастей, гвинтових стрічок, пропелерів або гвинтових турбін. На рисунку 8.13 представлено основні типи робочих органів змішувачів.

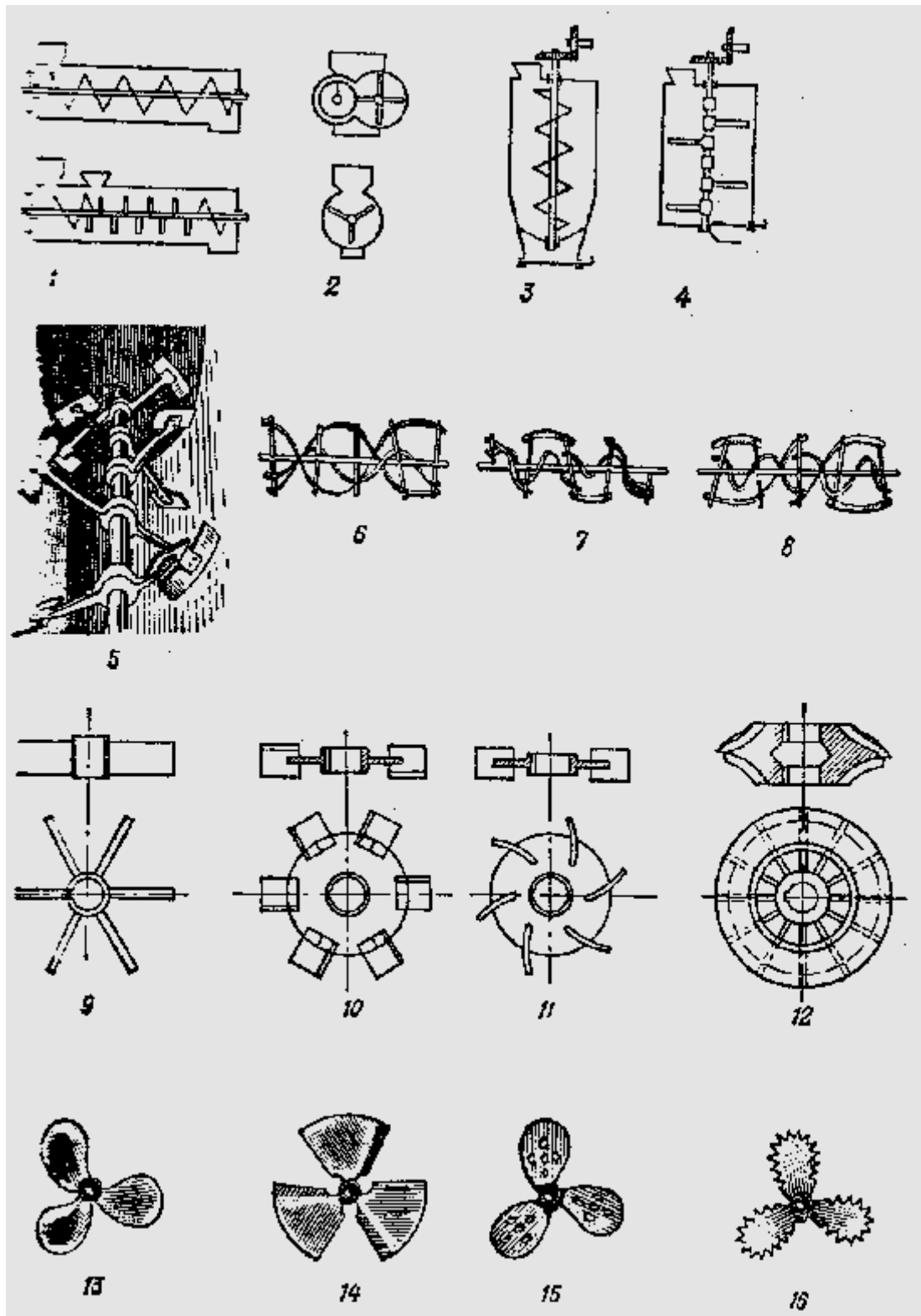


Рисунок 8.14 - Типи робочих органів змішувачів: 1, 2, 3 – шнекові; 4, 5 – лопастеві; 6, 7, 8 – стрічкові гвинтові; 9, 10, 11, 12 – турбінні; 13, 14, 15, 16 – пропелерні.

У змішувачах періодичної дії виконуються такі операції: завантаження кормів, змішування і вивантаження готової кормової суміші. Позитивним даного технологічного процесу є можливість застосування вагового дозування, яке дозволяє готувати кормові суміші з мінімальним відхиленням компонентів від заданих. Однак вони не придатні для змішування сипучих кормів із рідинами за умови, коли частка рідини складає менше 1%. Змішувачі періодичної дії поступаються безперервним за продуктивністю, енерго- і металомісткістю.

У змішувачах безперервної дії всі три операції (завантаження, змішування і вивантаження готового продукту) здійснюється одночасно, що забезпечує більш високу продуктивність і висуває більш жорсткі вимоги до величини і рівномірності дозування вихідних компонентів.

За швидкістю обертання робочих органів змішувачі поділяються на тихохідні і швидкохідні.

Тихохідними називають змішувачі, в яких показник кінематичного режиму дорівнює :

$$k = \frac{\omega^2 R}{g} < 30, \quad (8.44)$$

а швидкохідними такі, в яких цей показник дорівнює:

$$k = \frac{\omega^2 R}{g} > 30 \quad (8.45)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість робочого органа,  $c^{-1}$ ;

$R$  – максимальний радіус робочого органа, м;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $m/c^2$ .

При виробництві сухих кормових сумішей використовують переважно змішувачі з вертикальним розміщенням робочих органів. Для вологих кормів рекомендують використовувати горизонтальні змішувачі.

При необхідності у змішувачах проводиться запарювання кормів. В основному, запарювання проводиться в змішувачах періодичної дії, тому що на процес запарювання необхідно витратити час, необхідний для підігрівання корму до необхідної температури.

Завантаження змішувачів проводиться за допомогою дозаторів. При цьому змішувачі безперервної дії завантажуються компонентами суміші дозаторами безперервної дії та, їхня продуктивність повинна мати таке ж співвідношення, як і задане співвідношення компонентів у готовій суміші.

Змішувачі періодичної дії завантажуються необхідними компонентами за заданий проміжок часу (звичайно, це 10 – 15 хвилин). Продуктивність дозаторів повинна забезпечити завантаження необхідної кількості компонентів за цей час.

#### **8.4.4 Шнекові змішувачі безперервної дії**

Шнекові змішувачі безперервної дії (рисунок 8.13 а і б) використовують для змішування всіх видів кормів, за винятком рідких. Вони найбільш придатні для приготування комбікормів. Принцип їхньої дії такий. Компоненти безперервним потоком у відповідному співвідношенні подають у приймальний бункер, а потім – у робочу камеру, де під впливом робочого органа інтенсивно



переміщуються і змішуються, проходячи одночасно до вихідного отвору. Довжина змішувача вибирається така, щоб за час руху в ньому компоненти змішалися з потрібною ступенем однорідності.

Масова продуктивність шнекових змішувачів безперервної дії визначається за формулою

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi, \text{ кг/с} \quad (8.46)$$

де  $D$  і  $d$  – зовнішній діаметр шнека і діаметр вала шнека відповідно, м;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення шнека,  $\varphi = 0.3 \dots 0.4$ ;

$v$  – осьова швидкість переміщення продукту, м/с.

Для робочого органа у вигляді суцільного шнека

$$v_{\text{ш}} = \frac{S \cdot n}{60}, \quad v_{\text{ш}} = \frac{S \cdot \omega}{2\pi}, \text{ м/с} \quad (8.47)$$

де  $S$  – крок шнека, м;

$n$  – швидкість обертання шнека, об/хв.

Для змішувачів із комбінованими робочими органами (шнек – лопать)

$$v_{\text{к}} = \frac{S \cdot n \cdot \varepsilon}{60}, \quad v_{\text{к}} = \frac{S \cdot \omega \cdot \varepsilon}{2\pi}, \text{ м/с} \quad (8.48)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт втрати швидкості,  $\varepsilon = 0.6 \dots 0.8$ .

Потужність на привод шнекових змішувачів визначають за формулою:

$$N = \frac{Q \cdot L \cdot W}{367 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (8.49)$$

де  $Q$  – продуктивність змішувача, Т/год.;

$L$  – довжина змішувача, м;

$W$  – коефіцієнт опору переміщенню продукту в жолобі. Для сухих комбікормів  $W = 15 \dots 20$ ;

$\eta$  – ККД механізму приводу.

#### **8.4.5 Багатовальні шнекові змішувачі безперервної дії**

Продуктивність багатовальних шнекових змішувачів безперервної дії визначається з урахуванням одночасної роботи всіх шнеків

$$Q = z \cdot \varphi_1 \cdot Q_p, \text{ кг/с} \quad (8.50)$$

де  $z$  – кількість шнеків;

$\varphi_1$  – коефіцієнт, який враховує перекриття робочими деталями вільного перерізу шнека, визначається за конструкцією змішувача;

$Q_p$  – розрахункова продуктивність одного шнека, кг/с.

#### **8.4.6 Визначення основних параметрів двовального лопатевого змішувача періодичної дії**

За вихідними даними завдання (продуктивність змішувача  $Q$  і тривалість повного циклу приготування  $t_u$ ) з формули продуктивності змішувачів періодичної дії визначаємо необхідний об'єм змішувача:

$$V_{\text{зм}} = \frac{Q \cdot t_{\text{ц}}}{\rho \cdot \varphi}, \text{ м}^3 \quad (8.51)$$

де  $Q$  – продуктивність змішувача періодичної дії, кг/год:

$$Q = \frac{V_{\text{зм}} \cdot \rho \cdot \varphi}{t_{\text{ц}}} \text{ кг / год} \quad (8.52)$$

де  $V_{\text{зм}}$  - об'єм змішувача,  $\text{м}^3$ ;

$\varphi$  - коефіцієнт заповнення змішувача,  $\varphi = 0,8$  для вологих сумішей і  $\varphi = 0,7$  для напіввологих сумішей;

$t_{\text{ц}}$  - час повного приготування суміші, год.

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{з}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{в}}, \text{ год.} \quad (8.53)$$

де  $t_{\text{з}}$  – час, відведений на завантаження кормів,  $t_{\text{з}}=0,15 \dots 0,15$ ;

$t_{\text{зм}}$  – час, відведений на змішування компонентів суміші,  $t_{\text{зм}}=0,25 \dots 0,5$  год;

$t_{\text{в}}$  – час, відведений на вивантаження кормової суміші,  $t_{\text{в}}=0,25$  год.

Виходячи з форми змішувача (рисунок 8.15), його об'єм можна визначити із залежності:

$$V_{\text{зм}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L + D \cdot B \cdot L, \text{ м}^3 \quad (8.54)$$

де  $L$  – довжина змішувача, м;

$D$  – діаметр змішувача, м;

$B$  – відстань між осями валів, м.

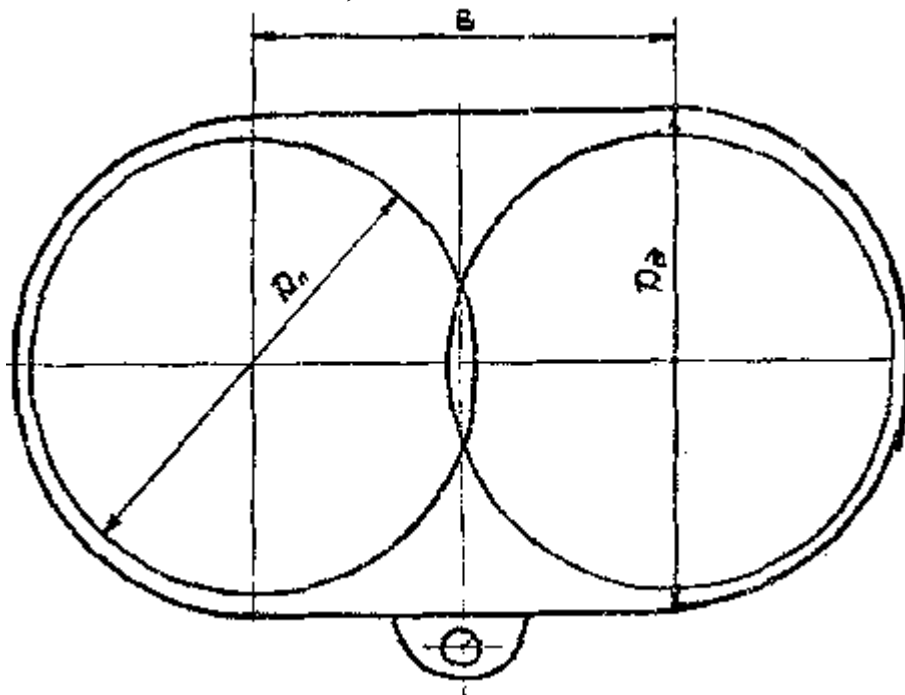


Рисунок 8.15 - Схема двовального змішувача

У зв'язку з тим, що ми не враховуємо об'єм, який займає шнек для вивантаження корму, ми можемо знехтувати тим, що лопаті за діаметром перекриваються, і прийняти  $B=D$ . У цьому випадку формула буде мати такий вигляд:

$$V_{\text{зМ}} = D^2 \cdot L \left( \frac{\pi}{4} + 1 \right) \quad \text{або} \quad V_{\text{зМ}} = 1.78D^2 \cdot L \quad (8.55)$$

Для забезпечення достатньої якості змішування довжина двовального змішувача повинна знаходитись у такому співвідношенні з діаметром:

$$L = kD \quad (8.56)$$

де  $k=1 \dots 2$  (за експериментальними даними).

З урахуванням цього діаметр змішувача визначаємо за формулою:

$$D = 3 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{зМ}}}{k(\pi + 4)}} \quad \text{або} \quad D = 3 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{зМ}}}{1.78k}} \quad (8.57)$$

Як показала практика, для забезпечення нормального змішування компонентів у двовальних змішувачах необхідно, щоб лопаті перекривалися на величину діаметра вивантажувального шнека  $d$ . Тому відстань між валами визначаємо із залежності:

$$B = D - d - 2a, \quad \text{м} \quad (8.58)$$

де  $a$  – радіальний зазор між лопатями і корпусом змішувача,  $a=0.02 \dots 0.05$  м;  
 $d$  – діаметр шнека,  $d=0.2 \dots 0.3$  м.

Крок установки лопатів рекомендують брати  $S=0.5 \dots 0.7$  радіуса лопатевого вала.

Кількість витків гвинтової лінії на валу:

$$m = \frac{L - 2b}{S} \quad (8.59)$$

де  $b$  – зазор між крайніми лопатями і торцевими стінками змішувача,  $b=0.1 \dots 0.2$  м.

Одержане значення  $m$  округляється і уточнюється в залежності від кроку гвинта  $S$ :

$$S = \frac{L - 2b}{m}, \quad (8.60)$$

Кількість лопатів за одним валом рекомендують визначати із такої залежності:

$$z = \frac{(3.5 \dots 4)R}{S}, \quad (8.61)$$

Лопаті рекомендують встановлювати через  $60^\circ$

Швидкість обертання лопатів визначається з умов, що відцентрова сила, яка діє на частку, не повинна перевищувати сили тяжіння цієї частки, інакше вона зійде з лопаті і вийде з активного процесу змішування.

За умови, коли відцентрова сила дорівнює силі тяжіння, кутова швидкість буде критичною і дорівнюватиме:

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{g}{R_{\text{л}}}}, \quad \text{с}^{-1} \quad (8.62)$$

де  $R_{\text{л}}$  – найбільший радіус обертання лопаті, м;

$\omega$  – кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$ .

Робоча кутова швидкість береться так:

$$\omega_{\text{р}} = 0.5 \omega_{\text{кр}}, \quad (8.63)$$

Потужність на привод змішувача визначити досить складно, тому розрахунки рекомендується проводити на основі теорії подібності за формулами, які рекомендує Ф.Г. Стукалін:

$$N_n = N_m \cdot \varpi_n \cdot \frac{D_n^{2,82}}{(\varpi_m \cdot D_m^{2,82})}, \text{ кВт} \quad (8.64)$$

де  $D_n$  і  $D_m$  – діаметри, які відповідають змішувачу і моделі,  $m$  і визначаються за формулами:

$$D_n = D_m \cdot 1,4 \sqrt{\frac{Q_n}{Q_m}}, \text{ м} \quad (8.65)$$

$$\varpi_n = \varpi_m \cdot \sqrt{\frac{D_m}{D_n}}, \text{ м.} \quad (8.66)$$

#### 8.4.7 Визначення основних параметрів одновального лопатевого змішувача періодичної дії

За вихідними даними так, як і в пункті 8.4.6, визначаємо геометричні параметри змішувача:

$$V_{зм} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \text{ м.} \quad (8.67)$$

При цьому  $L = kD$  і  $k=1.5\dots3$ .

Виходячи з цього, визначаємо діаметр змішувача і його довжину:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{зм}}{\pi k}}, \text{ м} \quad (8.68)$$

Відповідно довжина його буде:

$$L = kD, \text{ м} \quad (8.69)$$

При цьому  $L$  повинна бути не менше  $1.5\dots2$  м.

Діаметр лопатевого валу

$$D_{л} = D - 2a, \text{ м.} \quad (8.70)$$

де  $a$  – зазор між лопатями і корпусом,  $a=0.02\dots0.05$  м.

За експериментальними даними крок лопатів рекомендують вибирати:

$$S = (0.5\dots0.6)D_{л}, \quad (8.71)$$

Кількість витків гвинтової лінії визначається за формулою(3.59).

Загальна кількість лопатів визначається із виразу:

$$z = 1 + m(z_1 - 1), \quad (8.72)$$

де  $z_1$  – кількість лопатів по кожному витку.

Для одновальних лопатевих змішувачів рекомендують розміщувати лопаті під кутом  $120^0$ , тоді  $z_1=3$ . Тому

$$z = 1 + 2m \quad (8.73)$$

Робочу кутову швидкість визначають за формулами (3.62) і (3.63).

Потужність, необхідну для приводу змішувача, можна визначити із виразу:

$$N = \frac{P_p \cdot V_p + P_o \cdot V_o}{\eta}, \text{ Вт} \quad (8.74)$$

де  $P_p$  – радіальна сила, яка діє на занурені в суміш лопаті, Н;

$P_o$  – осьова сила, яка діє на лопаті, Н;

$V_p$  і  $V_o$  – радіальна і осьова швидкості пересування корму, м/с.

#### 8.4.8 Вертикальні шнекові змішувачі періодичної дії

Вертикальні шнекові змішувачі періодичної дії призначенні для приготування сумішей кормів із сухих компонентів (рисунок 8.16).

Процес змішування відбувається таким чином. Окремі компоненти завантажують у змішувач у кількості, що дорівнює його робочому об'єму. Потім вмикають шнек, кутова швидкість якого повинна бути в межах  $10 \dots 15 \text{ с}^{-1}$ . Нижні шари корму захоплюються шнеком, підіймаються вгору і опускаються вниз уздовж стінок корпусу. Така циркуляція протягом 5...8 хвилин забезпечує змішування компонентів в однорідну кормову суміш.

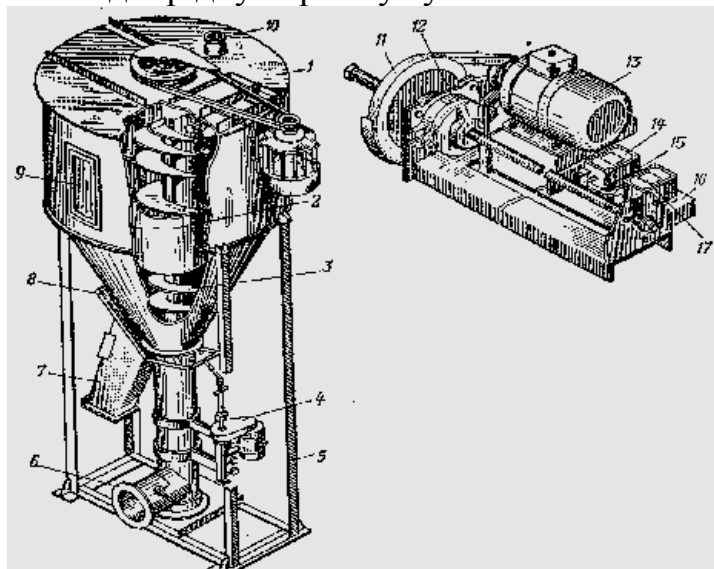


Рисунок 8.16- Вертикальний шнековий змішувач періодичної дії: 1 – бункер; 2 – труба; 3 – шнек; 4 – електропривод заслінки; 5 – рама; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – вивантажувальна горловина; 8 – заслінка; 9 – оглядове вікно; 10 – аспіраційний патрубок; 11 – шків приводу заслінки; 12 – корпус підшипника; 13 – електродвигун; 14, 17 – кінетичний вимикач; 15 – шток; 16 –рама

При виготовленні таких змішувачів дотримуються співвідношення:

$$\frac{H}{D} = 2 \dots 2.5 \quad (3.75) \quad \text{і} \quad \frac{d}{D} = 0.25 \dots 0.35 \quad (8.75)$$

де  $H$  і  $D$  – висота та діаметр робочої камери, м;

$d$  – діаметр шнека, м.

Продуктивність вертикальних шнекових змішувачів визначається за формулою:

$$Q = \frac{M}{t_{\text{ц}}}, \text{ кг/год.} \quad (8.76)$$

де  $M$  – маса корму, що завантажується в змішувач, кг;  
 $t_{ц}$  – тривалість циклу роботи змішувача, год.

$$t_{ц} = t_{з} + t_{зм} + t_{в}, \text{ год.} \quad (8.77)$$

де  $t_{з}$ ,  $t_{зм}$  і  $t_{в}$  – тривалість завантаження, змішування і вивантаження відповідно, год.

### **8.5 Напрямки удосконалення конструкцій змішувачів сипучих матеріалів**

Змішування сухих сипучих компонентів широко застосовується в сільському господарстві і комбикормовому виробництві.

Для здійснення процесу змішування запропонована велика кількість конструкцій змішувачів, які по характеру виконання технологічного процесу розділяються на змішувачі періодичної і безперервної дії. Для досягнення більшої продуктивності використовуються змішувачі безперервної дії.

У відомих змішувачах сипучих матеріалів сумішоутворення відбувається під впливом спеціальних робочих органів, виконаних у вигляді шнеків, мішалок, обертових барабанів, роторів та інших. Під дією робочих органів частини матеріалів взаємно перерозподіляються одні відносно других в загальному об'ємі, переходячи від початкового фіксованого розміщення в неупорядковане в змішувачах періодичної дії. В змішувачах безперервної дії перерозподіл частинок сипучих матеріалів відбувається в потоці і характеризується хаотичним розміщенням частинок в загальній масі.

Аналізуючи роботу таких змішувачів, можна зробити висновок, що вони не дають точного уявлення про фізичну сутність процесу змішування, тому що конструкції робочих органів не дозволяють заздалегідь спрогнозувати перерозподіл компонентів і керувати процесом сумішоутворення. Це обумовлено тим, що змішувані компоненти суміші зазнають рівно залежного впливу робочих органів і рухаються по довільним траєкторіям, внаслідок чого відбувається довільний перерозподіл часток між потоками змішування компонентів і не досягається задана однорідність суміші.

Співробітниками кафедри „Механізація тваринницьких ферм” Харківського національного технічного університету сільського господарства запропоновано такий спосіб змішування, при якому з'являється можливість управління перерозподілом часток сипучих матеріалів при сумішоутворенні. Управління процесом сумішоутворення може бути реалізоване в такому випадку, коли змішувані компоненти рухатимуться по пересічних траєкторіях, причому один із компонентів буде знаходитись в псевдорозрідженому стані, а компоненти, які вводяться, подаватимуться під прямим кутом до напрямку руху основного компонента і, маючи різну швидкість, будуть рівномірно розподілятися в основному компоненті. Графічна схема запропонованого способу сумішоутворення представлена на рисунку 8.17.

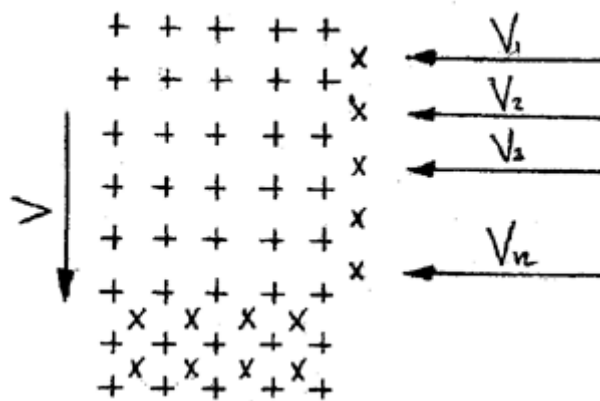


Рисунок 8.17 - Графічна схема запропонованого способу сумішоутворення:  $V$  – напрямок і швидкість руху основного компонента;  $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$  – напрямок і швидкість руху компонентів, що вводяться

Для реалізації запропонованого способу розроблений відцентровий змішувач сипучих матеріалів, технологічна схема якого представлена на рисунку 8.19.

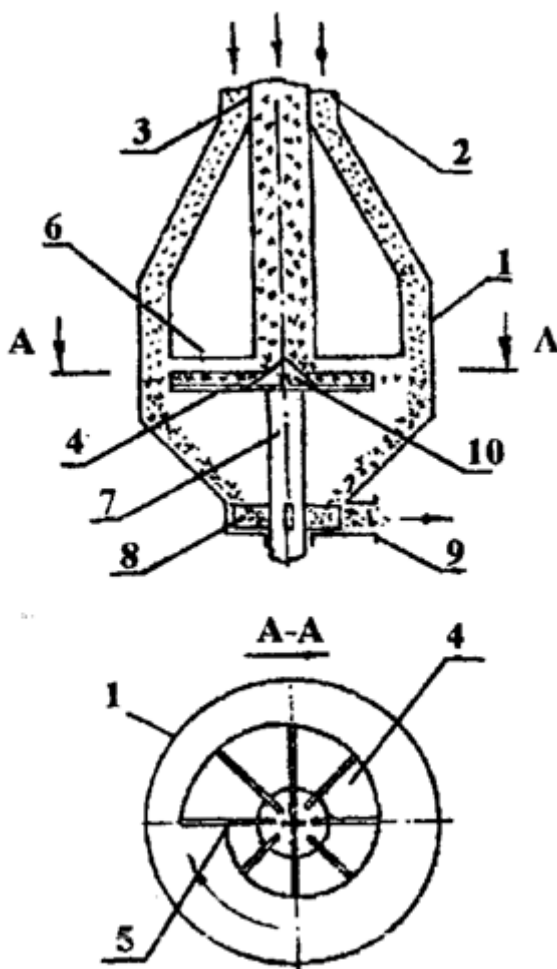


Рисунок 8.19 - Технологічна схема відцентрового змішувача сипучих матеріалів.

Відцентровий змішувач сипучих кормів складається з корпусу 1, центральна частина якого виконана циліндричною, а верхня та нижня частини виконані

конусоподібними. Подача компонентів у камеру змішування 6 здійснена через патрубки 2 і 3, розташовані у верхній частині корпусу. Причому перший компонент вводиться в камеру змішування в псевдорозрідженому стані, а другий подається на ротор 4, виконаний в вигляді диска з лопатками 5, які розташовані радіально, причому диск обмежений по периметру кривою у формі Архімедової спіралі. Крім того, в центральній частині диска розташований конус 10, який здійснює рівномірне розподілення сипучого матеріалу по диску. Привод ротора здійснюється приводним валом 7, на якому також закріплений вигрузний пристрій 8. Вивантаження готової суміші відбувається через патрубок 9.

Технологічний процес змішування сипучих кормів здійснюється таким чином:

Основний компонент суміші подається через патрубок 2 в камеру змішування 6 в псевдорозрідженому стані і під дією сили ваги рухається вертикально вниз. Компоненти, які вводяться, подаються через патрубок 3 на обертовий ротор 4 і за рахунок відцентрової сили і різних радіусів диска, набуваючи різної швидкості руху, рівномірно розподіляються в основному компонентіві, що дозволяє отримати однорідну суміш змішуваних кормів.

Використання відцентрового змішувача сипучих кормів в сільськогосподарському виробництві дозволяють якісно готувати кормові суміші, що приведе до підвищення продуктивності тварин.



## **9 Машини та обладнання для теплової та хімічної обробки кормів**

### **9.1 Основні способи обробки та їх призначення**

Теплова та хімічна обробка проводяться з метою: покращення смакових якостей і перетравності кормів; знезаражування недоброякісних і знешкодження шкідливих речовин; приготування дієтичних кормів. Хімічна обробка грубих кормів передбачає зміну внутрішньої структури кормів і відповідно підвищення їхньої поживної та енергетичної цінності.

Найпоширеніші такі способи теплової і хімічної обробки кормів: зневоднення зелених кормів (теплове); запарювання зерна і картоплі; обробка грубих кормів хімічними реагентами (лугами та кислотами); комбіновані (термохімічна, гідробаротермічна тощо).

Зневоднюють в основному зелені корми, а також частково коренеплоди, харчові відходи і буряковий жом з метою збереження їхніх поживних речовин протягом тривалого періоду.

Запарюють і варять картоплю, харчові відходи, пошкоджені коренеплоди. В умовах господарств інколи виникає необхідність запарювати коренеплоди або концентрати, у першу чергу у випадках їхнього псування при порушенні режимів зберігання або попередньої підготовки.

Хімічній обробці піддають в основному грубі корми (солому) для підвищення перетравності її клітковини, а також подрібнені стебла зелених рослин при їх консервуванні (закладання силосу і сінажу з метою зменшення втрат поживних речовин).

### **9.2 Аналіз роботи теплообмінних апаратів**

#### **9.2.1 Сушіння кормів**

Процеси та машини для сушіння кормів повинні відповідати таким вимогам:

маса, що надходить на сушіння, повинна бути достатньо сипкою та відповідно подрібненою. Частинок трав розміром до 30 мм – не менше 80% всієї маси, максимальний допустимий розмір решти частинок – не більше 110 мм, початкова вологість – 60–85%;

картопля перед сушінням поріzana на шматочки товщиною 2–4 мм, а морква та цукрові буряки – на частинки розміром (3–6)х6 мм, шматочків або стовпчиків указаних розмірів – не менше 80% усієї маси, м'язги не повинно бути зовсім;

максимальна температура продукту у процесі сушіння не повинна перевищувати 70°C;

втрати продукту за сухою речовиною у процесі сушіння – не більше 2%, а каротину – 10%;

вологовипарувальна здатність робочої камери при вологості висушуваної сировини не нижче 78% – не менше 100 кг на 1 м<sup>3</sup> об'єму;

універсальність сушарок, тобто можливість висушувати всі види кормів до заданої вологості – 10–14%;

наявність механізованого пристрою, що забезпечує автоматичне і дублююче ручне регулювання кількості вихідної маси залежно від температурного режиму, а

похибка дозування не перевищує допустиму;

низька енерго- та металомісткість, а також наявність обладнання для рециркуляції з метою використання тепла відпрацьованих газів;

простота конструкції, надійність і зручність в експлуатації.

*Типи і оцінка машин.* Машини для сушіння кормів поділяються за характером роботи, напрямком руху сушильного агента та його температурою, виконанням технологічного процесу. За характером роботи є сушарки періодичної дії (періодичне завантаження та розвантаження всього висушуваного матеріалу) та безперервної дії (завантаження і розвантаження здійснюється безперервно). Останні відзначаються раціональнішим використанням об'єму робочої камери і рівномірністю сушіння, можливістю автоматизації процесу завантаження. Це забезпечило їм широке застосування.

Якщо напрямок руху сушильного агента і матеріалу збігаються, то це прямооточні сушарки, протилежні – протиточні. Бувають також з перпендикулярно-перехресними потоками.

За температурою сушильного агента сушарки розділяються на низько- та високотемпературні. Останні мають температуру агента в межах 600–750 °С і відзначаються вищим ККД.

За конструктивно-технологічними особливостями сушарки можна розділити на лоткові, конвеєрні (стрічкові) та пневмобарабанні.

*Лоткові сушарки* конструктивно виконані у вигляді однієї або декількох камер (лотків) з перфорованим дном, в які завантажують сировину. Сушильний агент від теплогенератора рівномірно розподіляється ситом по всій площі лотка, проходить через шар сировини, забирає від неї вологу і відводить в атмосферу. Це конструктивно найпростіші та найдешевші сушарки, універсальні, оскільки в них, крім кормів, можна сушити й інші матеріали (тресту, деревину, бавовну).

Однак лоткові сушарки мають цілий ряд суттєвих недоліків. По-перше, весь матеріал у лоткових сушарках піддається дії однієї ж і тієї температури і, як наслідок, у таких конструкціях відсутні селективні (відбіркові) властивості. Тому вони мало придатні для сушіння неоднорідних матеріалів, наприклад трави, що складається із швидковисушуваних листочків і стебел, бо швидкість висихання останніх у 4–5 разів менша. При досягненні стеблами кондиційної вологості {12–14%) листочки пересушуються до вологості 2–3% і перегріваються.

По-друге, надто складно подати вихідний матеріал рівномірно і з однаковою щільністю по всій площі лотка. Це призводить до прориву газів і збільшення витрат палива.

По-третє, незважаючи на відносно невелику початкову температуру сушильного агента (до 95 °С), відсутність постійного ворухіння та перевертання сировини призводить до перегрівання і пересихання нижніх шарів (температура 80 °С і вологість 2–5%). Крім того, цей процес важко автоматизувати.

Проте такий спосіб застосовують при досушуванні трав на сіно, що дозволяє провести збирання трав із мінімальними втратами. На практиці застосовують досушування в скиртах і у стаціонарних сховищах (баштах та інших). У скиртах досушують неподрібнену траву вологістю 40–45%, яку укладають на каркас повітророзподільвача пошарово до висоти 6–7 м. У сховищах досушується подрібнена трава вологістю 45–50%.

На основі узагальнення дослідних даних можна сформулювати два основних правила для досушування бобових трав із метою отримання вітамінного сіна при активному вентиляванні:

при відносній вологості повітря більше 75% і температурі нижче 15 °С необхідно повітря підігрівати на 5–10 °С, що дозволяє отримати приблизно на 20% більше протеїну, ніж при вентиляванні холодним повітрям, і скоротити тривалість сушіння в 2 рази;

загальна тривалість досушування трави не повинна перевищувати 20 діб, щоб уникнути втрат поживних речовин.

*Конвеєрні (стрічкові) сушарки* бувають одноярусні, у вигляді одного довгого транспортера, встановленого у вузькому тоннелі, і багатоярусні (рисунк 9.1) у вигляді кількох коротких, розміщених один над одним транспортерів. В одному довгому транспортері сушильний агент рухається в тому ж напрямку, що й сировина. При багатоярусному розміщенні транспортерів сушильний агент рухається вгору, назустріч сировині, а сировина надходить із верхнього транспортера на нижні. Це дозволяє використовувати більш високу початкову температуру сушильного агента (до 150 °С).

У конвеєрних сушарках усунуто ряд недоліків лоткових: забезпечено безперервність технологічного процесу, що дозволяє провести його механізацію та частково автоматизацію і зменшити витрати ручної праці, підвищено ККД, покращено умови праці обслуговуючого персоналу. Серед недоліків слід відзначити нерівномірність вологості висушеного продукту, часткове перегрівання його і відповідно значні втрати каротину, збільшені витрати тепла, громіздкість обладнання тощо.

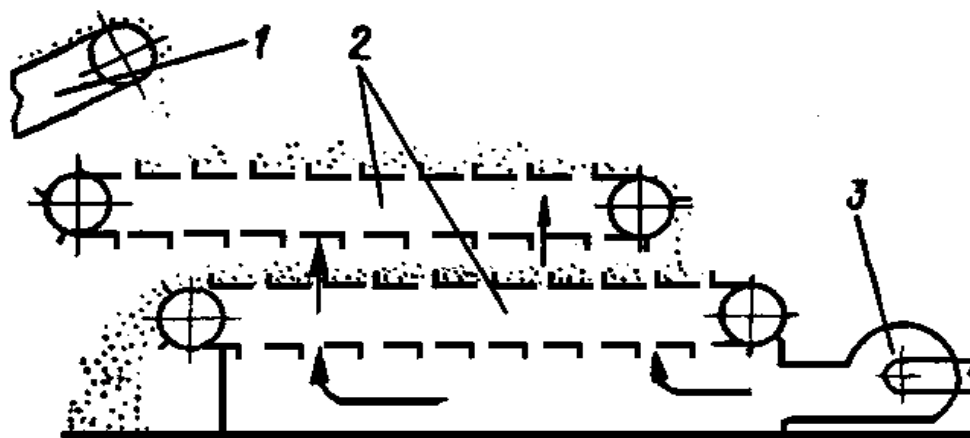


Рисунок 9.1 - Схема конвеєрної багатоступінчастої сушарки: 1 – завантажувальний транспортер; 2 – сітчастий конвеєр; 3 – вентилятор з калорифером.

*Пневмобарабанні сушарки* АВМ-1,5 і АВМ-0,65 характеризуються селективним принципом сушіння і, як наслідок, досить рівномірною вологістю висушеного продукту та можливістю отримати його тільки за один прохід через

робочу камеру. У зв'язку із вчасним виносом частинок з гарячого середовища допускаються більш високі температури сушильного агента при менших втратах поживних речовин. Барабанні сушарки (рисунок 9.2) відзначаються універсальністю, тобто можливістю висушувати в них не тільки основні кормові матеріали (трави, коренебульбоплоди, зернові), а й інші сипкі матеріали (подрібнені гілки дерев, жом, фруктові, овочеві та виноградні вичавки). Незважаючи на складнішу конструкцію і високу енергомисткість (до 300 кг рідкого палива на 1 т готової продукції), вони мають порівняно вищу продуктивність і ККД, придатні до автоматизації технологічного процесу і вимагають мінімальних витрат праці. Все це забезпечило широке поширення пневмобарабанних сушарок і витіснення ними всіх інших типів.

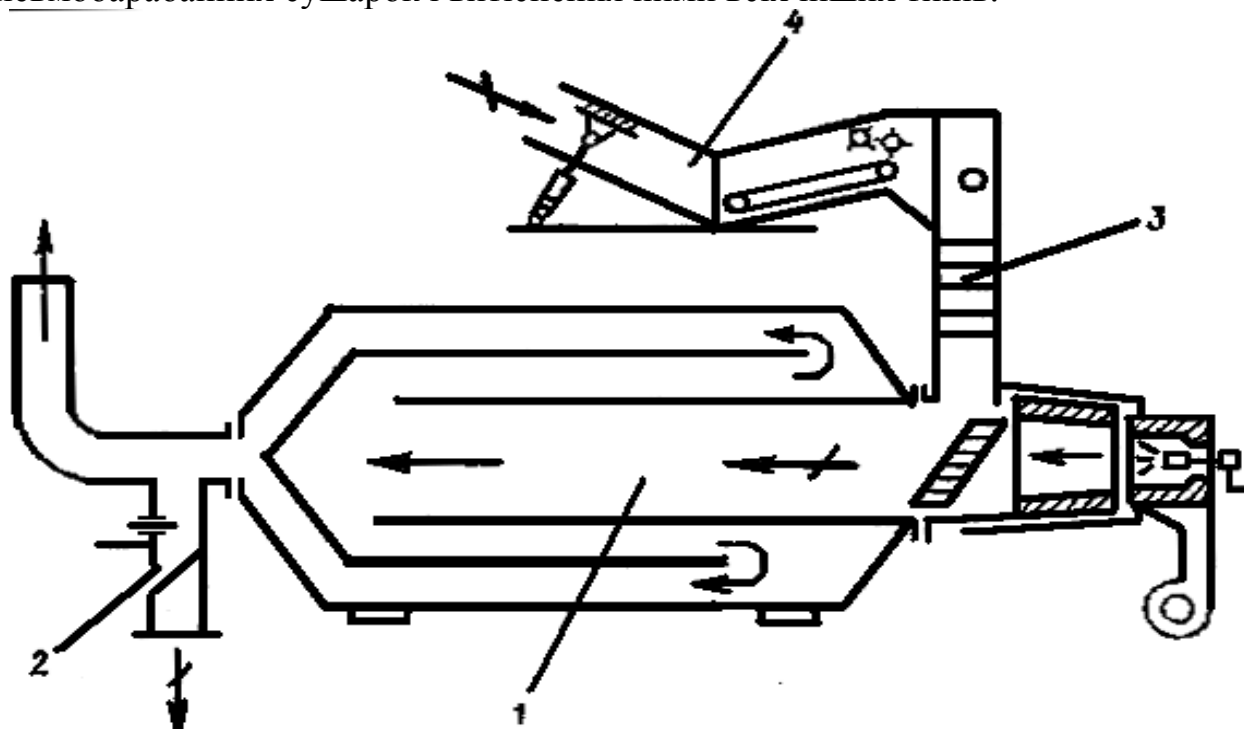


Рисунок 9.2 - Схема пневмобарабанної сушарки: 1 – барабан; 2 – вловлювач; 3 – транспортер подачі маси; 4 – живильник

Основи процесу сушки та розрахунок параметрів. Видалення вологи з будь-якого матеріалу здійснюється шляхом переходу її парів у оточуюче середовище (сушильний агент) з меншою вологістю. Цей процес конвекції вологи триває доти, доки вологість матеріалу і сушильного агента стануть однаковими. Таку вологість називають рівноважною.

У початковий період сушіння  $\tau_0$  (рисунок 9.3) корм нагрівається (EF), вологість його суттєво не знижується (AB). При подальшому контакті корму із сушильним агентом відбувається зневоднення з постійною швидкістю (BC – пряма). Температура за об'ємом корму у цьому періоді постійна і дорівнює температурі мокрого термометра (FG).

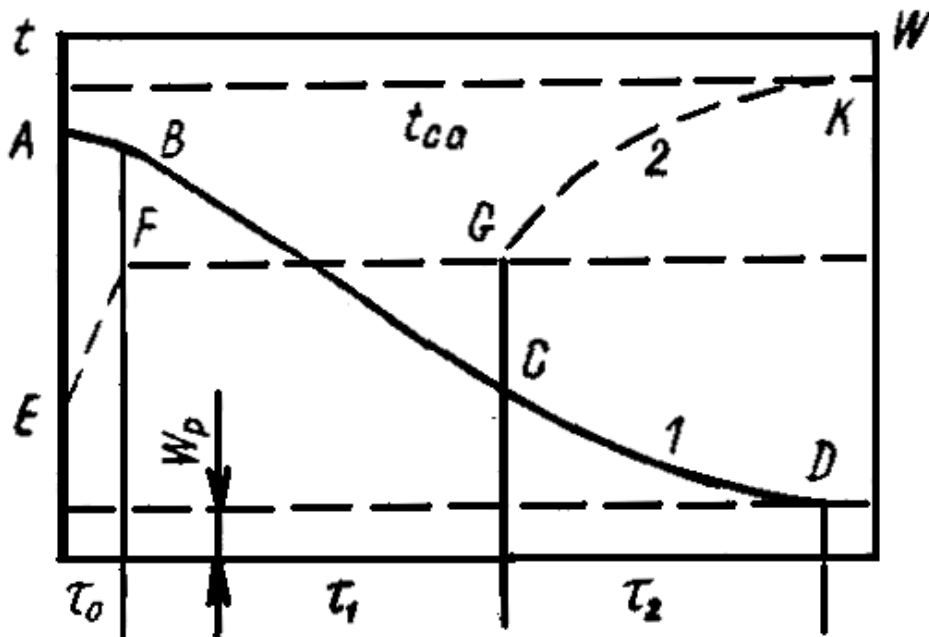


Рисунок 9.3 - Загальна схема конвективного процесу сушіння: 1 – графік зневоднення; 2 – температурний графік сушильного агенту

При досягненні критичного вологовмісту корму (т. С) починає зростати його температура (GK), а темп зневоднення знижується (CD). Цей другий період  $\tau_2$  називають періодом падаючої швидкості сушіння. Сушіння припиняється (D), коли корм досягне рівноважної вологості ( $W_p$ ).

У кожному конкретному випадку величина  $W_p$  може мати своє значення, задане технологією, а її досягнення регулюється зміною вологості сушильного агента і експозицією процесу так, щоб температура нагрівання корму не перевищувала допустимої ( $65-70^\circ\text{C}$ ), вище якої руйнується білок.

Об'єм барабана пневмобарабанної сушарки визначається за формулою:

$$V_B = \frac{Q}{d_v t}, \text{ м}^3 \quad (9.1)$$

де  $Q$  – теплопродуктивність сушарки, Вт;

$d_v$  – об'ємний коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ . Його величина визначається експериментальним шляхом як сума складових, що враховують різні види теплопередачі;

$t$  – середньологарифмічна різниця температур між сушильним агентом і кормом, К.

У випадку проектування сушарок з прямоточним барабаном за загальним об'ємом барабана знаходять його габарити – діаметр і довжину. Для багатоциліндрової конструкції барабана загальна розрахункова довжина складається із суми окремих циліндрів. Співвідношення довжини і діаметра барабана рекомендують брати, орієнтуючись на існуючі машини.

Частота обертання барабана не повинна перевищувати 60% критичної частоти  $n_k$ , яка визначається з умови:

$$m\omega^2 R_6 = mg.$$

Звідки:

$$n_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R_6}}, \text{ об/хв}, \quad (9.2)$$

де  $R_6$  – радіус барабана, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання барабана, рад/с;

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>.

Потужність привода, кВт, барабана знаходять за рівнянням:

$$N = 1,3 \cdot 10^{-3} D_6 L_6 \rho n_6 K_N, \text{ кВт} \quad (9.3)$$

де  $D_6$  – діаметр барабана, м;

$L_6$  – довжина барабана, м;

$\rho$  – щільність шару частинок корму, кг/м<sup>3</sup>;

$n_6$  – частота обертання барабана, хв.<sup>-1</sup>;

$K_N$  – коефіцієнт потужності. Для барабанів з підйимально-лопатевою системою при коефіцієнтах заповнення 0,1, 0,15 і 0,20 коефіцієнт потужності відповідно становить 0,038, 0,053 і 0,063.

### **9.2.2 Вологотеплова обробка зерна**

При дії на зерно теплотою, тиском, електричним струмом або їх поєднанням з визначеними режимами відбуваються складні структурно-механічні та біохімічні перетворення, які дозволяють підвищити ефективність використання поживних речовин зерна тваринами. Практичне застосування знайшли два способи – вологотепловий із плющенням і екструзія. Основним показником якості обробки зерна при цьому вважають ступінь желатинізації крохмалю (розрив зерен крохмалю).

Запарювання фуражного зерна у поєднанні з плющенням гладенькими вальцями дозволяє довести ступінь желатинізації крохмалю до 40–60% (більша цифра відноситься до тиску пари 0,3–0,5 МПа), що дає можливість знизити витрату зерна на виробництво молока і яловичини на 8–10% і більше.

Для плющення зерна гладенькими вальцями доцільна вологість його має становити близько 24–26%. При підвищеній вологості для забезпечення захоплювання зерна валками необхідно видалити поверхневу вологу. Під час безперервного технологічного процесу зволожувати зерно перед плющенням доцільніше парою.

Для запарювання зерна перед плющенням застосовують переважно металеві шахти із зворотним конусом, обладнані пристроєм для подачі зерна і пари. Такі шахти мають місце у зерноплющилках, які виготовляються серійно (рисунок 9.4).

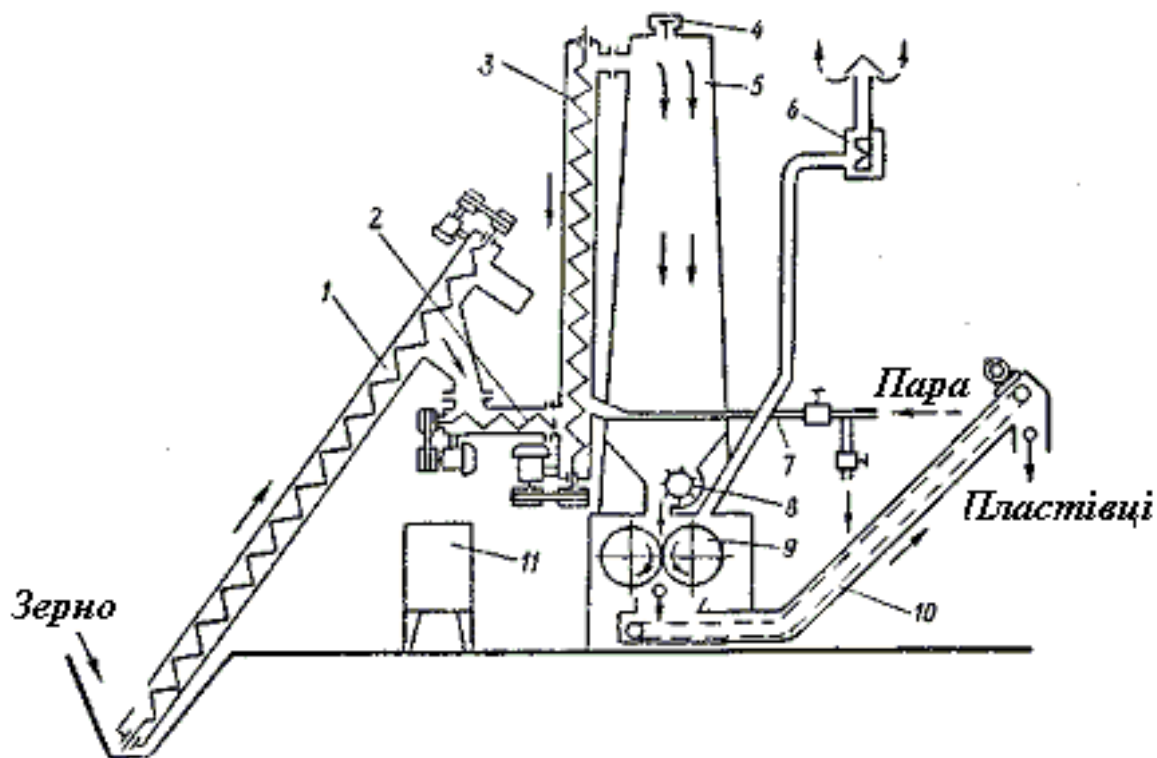


Рисунок 9.4 - Функціональна схема вологотеплової обробки зерна: 1,3 – подаючий і завантажувальний шнеки; 2 – гвинтовий дозатор; 4 – запобіжний клапан; 5 – шахта; 6 – витяжний вентилятор; 7 – паропровід; 8 – барабанний дозатор; 9 – плющильні вальці; 10 – вивантажувальний скребковий транспортер; 11 – пульт керування.

Ступінь желатинізації крохмалю обумовлюється в основному двома факторами: режимом попередньої обробки зерна (пропарювання, замочування) і товщиною пластівців. Експериментальними дослідженнями встановлено, що чим вищі температура і тиск, тим менша експозиція обробки. При більш високих параметрах пари зерно прогрівається швидше (прогрівання та зволоження повинні бути рівномірними і на всю глибину зернівки). Для параметрів пари, що застосовується на тваринницьких фермах (0,04–0,06 МПа), експозиція повинна бути в межах 15–20 хв. Об'єм шахти для зерна узгоджують із продуктивністю плющилки і визначають за відношенням:

$$V = \frac{Q \cdot \tau_{\text{п}}}{\beta \cdot \rho}, \text{ м}^3 \quad (9.4)$$

де  $Q$  – продуктивність установки, кг/с;

$\tau_{\text{п}}$  – експозиція обробки зерна паром в шахті плющилки, с;

$\rho$  – щільність продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт заповнення (0,6–0,8).

Максимальний ступінь желатинізації крохмалю зерна 80–90% відбувається при варінні зерна в гарячому повітрі (108 °С) протягом 2 хв і подальшому тонкому плющенні або шляхом екструдювання дерті зерноsumішки, яка застосовується для приготування амідоконцентратних добавок (АКД).

Суміш зернової сировини, карбаміду і бентоніту (у пропорції відповідно 70–

75%, 20–25 і 5%) завантажують у бункер, із якого конвеєром дозатора оброблюваний матеріал спрямовується у робочий циліндр екструдера, де під фрикційною дією його гвинта нагрівається до 150–160 °С і під тиском 1,8–2,0 МПа видавлюється через отвори матриці. Вказані режими створюють умови «вибуху», які супроводжуються втратою вихідної вологості до 7–8%. Продукт розпушується, зберігаючи в перерізі форму отвору матриці, твердіє приблизно протягом години.

На всіх операціях повинен здійснюватись автоматизований контроль за підготовкою суміші і екструзією, щоб уникнути порушення режимів, яке призводить до отримання продукту, що не відповідає вимогам.

Якість екструдату визначають коефіцієнтом зруйнованості – відношенням мас однакових об'ємів розмелених зерна і екструдату. Він повинен бути у межах 1,5–2,5.

Вологотеплова обробка сої передбачає інактивацію (знешкодження) шкідливих для тварин речовин (трипсин), що відбувається при температурі пари 132°С протягом 13 хв. або при температурі 100–105 °С протягом 30 хв. Інактивацію сої можна також здійснити в екструдерах. Проте найдоцільнішим є одночасне видалення соєвого масла, якого міститься до 18%.

Під час застосування екструдерів масло видаляється з екструдату спеціальною приставкою (до 11 – 12%). Повніше видалення масла здійснюється на маслоекстракційних підприємствах. Соеві боби очищаються від сторонніх домішок (часток стебел, піску, металевих предметів), потім подрібнюються на вальцях до вигляду пластівців товщиною 0,25 мм, і його піддають екструдуванию.

Застосування екструдерів доцільне в окремих великих господарствах або на міжгосподарських підприємствах, тобто при незначних обсягах переробки. Ефективніше з точки зору техніко-економічних показників залучати маслоекстракційні підприємства на десятки тисяч тонн, які розраховані на регіони.

### **9.2.3 Запарювання бульбоплодів**

До процесу запарювання і машин висуваються такі зоотехнічні вимоги:

обов'язкове дотримання температурного і часового режимів запарювання кормів (наприклад, для картоплі температура 95–105 °С протягом 40–45 хв);

запарені корми перед згодовуванням тваринам охолоджувати до 40 °С, а кількість корму не повинна перевищувати разової потреби, оскільки термін зберігання їх обмежений;

рівномірність прогрівання всього об'єму завантаженого корму;

мінімальна витрата пари на запарювання (до 0,12–0,16 кг пари на 1 кг продукту);

простота конструкції, надійність і зручність в експлуатації.

Технологічний процес запарювання бульбоплодів та машини для його виконання за організацією робочого процесу поділяють на періодичної і безперервної дії.

Робочий процес у запарниках періодичної дії (рисунок 9.5) передбачає, що попередньо вимиті бульбоплоди подаються через завантажувальний люк і при закритій кришці порція продукту прогривається парою, яка надходить крізь



отвори паророзподільника. Конденсат, що утворюється при цьому, стікає крізь патрубок у нижній зоні запарника. Момент закінчення запарювання визначається виходом пари через патрубок конденсату. Після припинення подачі пари і невеликої витримки включається розвантажувальний транспортер з м'ялкою чи лопатевий змішувач. У подальшому цикл повторюється.

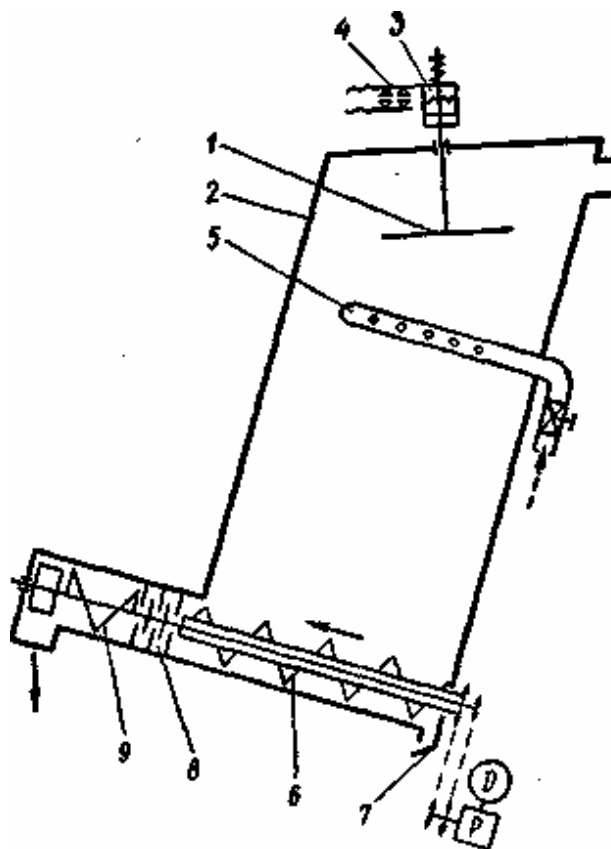


Рисунок 9.5 - Функціональна схема запарника кормів: 1 – диск-розподільник; 2 – запарювальна камера; 3 – кулачкова муфта; 4 – кінцевий вимикач; 5 – колектор паропроводу; 6, 9 – вивантажувальні шнеки; 7 – отвір для конденсату; 8 – мялка

У запарниках безперервної дії перша порція корму запарюється аналогічно вище розглянутому. І тільки після закінчення запарювання першої порції корму, включаючи завантажувальний транспортер і вивантажувальний шнек та регулюючи відповідним чином подачу пари, переводять запарник на безперервну дію. При цьому переміщення продукту у запарниках із вертикальним циліндром відбувається за рахунок власної ваги, а з горизонтальним циліндром – за рахунок розміщених по гвинтовій лінії лопатей.

Проходження теплових процесів у запарниках періодичної та безперервної дії зображено на рисунку 9.6, де на осі абсцис відкладено час процесу, а на осі ординат – кількість тепла. Ламана  $O_1ABCD$  характеризує запарники періодичної дії. У перший період відсувається нагрівання продукту і стінок запарника ( $O_1A$ ) до температури пари. Потім подачу пари припиняють, і продукт залишається в запарнику деякий час ( $AB$ ), протягом якого відбувається його розм'якшування. У процесі розвантаження втрати тепла з продуктом і конденсатом різко збільшуються ( $BC$ ), а під час звантаження нової порції чи перерви інтенсивність протікання цього процесу зменшується ( $CD$ ).

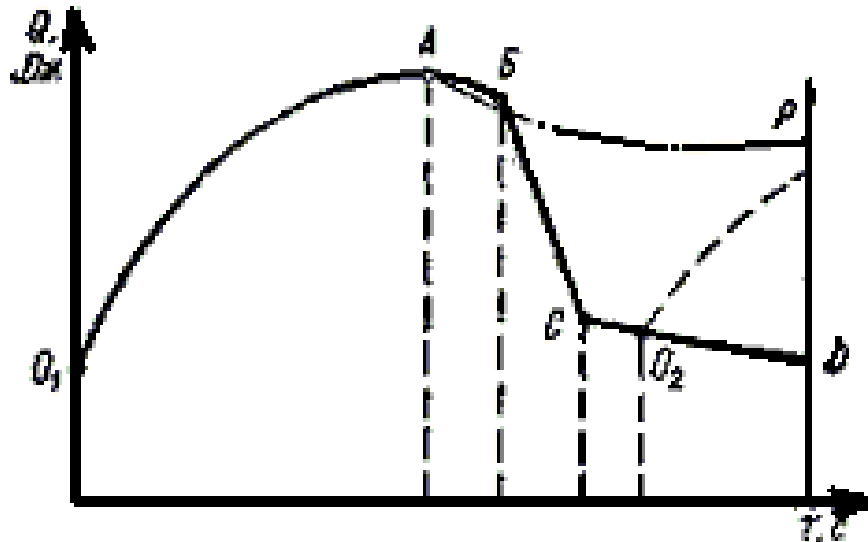


Рисунок 9.6 - Графік зміни теплових процесів роботи запарника

Проведений аналіз свідчить: технологічний процес запарника періодичної дії відзначається нерівномірною витратою пари. Зменшувати її кількісно можна за рахунок зменшення часу на допоміжні процеси (завантаження, розвантаження). Із графіка видно, що коли нова порція почне запарюватися в точці  $O_2$ , то на її запарювання потрібно менше пари (тепла).

У початковий період, тобто при нагріванні першої порції корму, протікання теплових явищ у запарниках безперервної дії відбувається аналогічно запарникам порційної дії ( $O_1A$ ). При переведенні запарника на безперервний режим витрати тепла дещо зменшуються і залишаються постійним до кінця роботи ( $AP$ ). Рівномірна витрата пари, а також зменшення втрат тепла через відсутність перерв роблять запарники безперервної дії економічнішими у межах 10–12%.

#### 9.2.4 Термохімічна обробка грубих кормів

Перетравність клітковини соломи підвищують шляхом обробки подрібненої соломи вапном, кальцинованою або каустичною содою, аміачною водою. Під час вапнування, наприклад, на 100 кг соломи витрачається 3 кг негашеного вапна або 9 кг гашеного, 0,5–1 кг солі і 150 кг води. При тепловій обробці паром достатня витримка 3–4 год, без запарювання – 12–24 год.

Із способів хімічної обробки соломи найпоширеніші два: сухий – гранулювання соломи, обробленої аміачною водою або лугом (28–30%-ним розчином із розрахунку 4% кристалічного луку до сухої соломи); вологий – пропарювання соломи, обробленої тими ж реактивами.

Камери для термохімічної обробки грубих кормів застосовують переважно вертикальні з паропроводом і нижнім розвантаженням, які дозволяють вести процес безперервно з розрахунку експозиції обробки паром суміші грубих кормів у межах 3–3,5 год. Такі камери мають у верхній частині обладнання для приймання і змішування подрібнених кормів із розчином хімреактиву та знизу фрезу для розвантаження маси. Для невеликих обсягів можна застосовувати запарні камери порційної дії з обладнанням для подачі пари.

Слід мати на увазі, що очікувана технологічна ефективність забезпечується лише при обробці доброякісної соломи і дотриманні концентрації хімреактивів.

Це особливо відноситься до випадків застосування рідкого лугу, який постачається в цистернах, оскільки при температурі нижче +4 °С для його розрідження використовують підігрівання парою, що супроводжується порушенням концентрації.

### 9.3 Технологічний розрахунок запарників

Тепловий розрахунок запарників передбачає визначення теплового балансу запарника. Тепло, яке підводиться в запарник, витрачається на запарювання корму  $Q_1$ , нагрівання стінок запарника  $Q_2$  і на втрати у навколишнє середовище  $Q_3$ , тобто:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ кДж} \quad (9.5)$$

Для визначення перших двох складових можна користуватися законом теплотехніки, згідно з яким для нагрівання будь-якої речовини в межах від початкової до кінцевої температур кількість тепла пропорційна масі цієї речовини і її теплоємності.

Тоді:

$$Q_1 = m_k C_k (t_k - t_n) \text{ кДж} \quad (9.6)$$

$$Q_2 = m_c C_c (t_k - t'_n) \text{ кДж} \quad (9.7)$$

де  $m_k, m_c$  – відповідно маси корму та стінок запарника, кг;

$C_k, C_c$  – теплоємність продукту і частин запарника, що нагріваються, Дж/кг·град;

$t_k, t_n, t'_n$  – кінцева і початкові температури продукту і стінок запарника, °С.

Під час запарювання першої порції корму початкові температури продукту і стінок приймаються однаковими ( $t_n = t'_n$ ), а для наступних порцій  $t'_n > t_n$  і залежатиме від часу розвантаження і завантаження запарника.

Втрати тепла у навколишнє середовище визначаємо за формулою:

$$Q_3 = F \cdot \varepsilon \cdot (t_{ст} - t_n) \cdot \tau \text{ кДж} \quad (9.8)$$

де  $F$  – загальна площа поверхні запарника, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі (конвекцією і випроміненням), Вт/м<sup>2</sup>·град;

$t_{ст}$  – середня температура стінок запарника, °С;

$t_n$  – температура навколишнього повітря, °С;

$\tau$  – тривалість процесу запарювання, с.

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі показує, яка кількість тепла в одиницю часу віддається з 1 м<sup>2</sup> зовнішньої поверхні запарника в навколишнє середовище при різниці температур в 1 °С, і наближено становить:

$$\varepsilon = 7,8 + 0,047(t_{ст} - t_n), \quad (9.9)$$

Загальна кількість пари:

$$P = \frac{Q}{I_n - I_k}, \text{ кг} \quad (9.10)$$

де  $I_n$  – ентальпія пари, Дж/кг;

$I_k$  – ентальпія конденсату, Дж/кг.

У більшості випадків у запарниках застосовують вологу насичену пару, ентальпія якої  $l_n = l'X$ ;

ентальпія ж конденсату  $l_k = C_k t_k$  ( $l'$  – ентальпія сухої насиченої пари, Дж/кг;

$X$  – ступінь сухості пари, для котлів невеликої продуктивності без сухопарників  $X = 0,96$ ;

$C_k$  – теплоємність конденсату, при конденсації водяної пари  $C_k = 4,19$  кДж/кг·град;

$t_k$  – температура конденсату, °С).

Відношення кількості тепла, що витрачається на нагрівання продукту, до загальної кількості підведеного до запарника тепла називається ККД запарника:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2 + Q_3}, \quad (9.11)$$

Слід відзначити, що при запарюванні грубих кормів (соломи) у зв'язку із низькою їх теплоємністю процес затягується, оскільки в перший період відбувається насичення соломи конденсатом. Це призводить до підвищеної витрати пари.

Для підвищення ефективності технологічного процесу запарювання таких кормів їх звожують у відношенні 1 : 1...1.2. Для повного насичення 1 кг соломи потрібно 1,5–1,8 кг води, і ця різниця покривається конденсатом при запарюванні. У зв'язку з тим, що теплоємність води у 5 разів більша за теплоємність соломи, то в основному витрата тепла йде на нагрівання води. Це потрібно враховувати в загальному рівнянні теплового балансу (6.4), де з'являється ще одна складова  $Q_4$ , яка враховує витрати тепла на нагрівання цієї води.

До основних параметрів запарників періодичної дії відносяться пропускна здатність, витрата пари, геометричні розміри та кінематичні режими роботи.

Пропускна здатність (продуктивність  $G$ , кг/с) запарника визначається рівнянням:

$$G = \frac{V \cdot j \cdot \beta}{\tau}, \quad \text{кг/с} \quad (9.12)$$

де  $V$  – об'єм запарника, м<sup>3</sup>;

$j$  – щільність продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт заповнення місткості (0,85–0,90).

Тривалість процесу запарювання (час циклу)  $\tau$  складається із часу завантаження  $\tau_1$ , часу запарювання  $\tau_2$  і часу розвантаження  $\tau_3$ :

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad \text{с} \quad (9.13)$$

Із рівняння (9.12) при заданій продуктивності визначаємо необхідний об'єм запарника:

$$V = \frac{G \cdot \tau}{j \cdot \beta}, \quad \text{м}^3 \quad (9.14)$$

При одній і тій же місткості запарник може мати різну форму. З точки зору теплотехніки і витрат матеріалу на виготовлення бажано мінімізувати зовнішню поверхню запарника. Цим вимогам ідеально відповідає куля. Однак через складності виготовлення і незручності під час завантаження ця форма не знайшла застосування.

На практиці простіше за все виготовити запарники циліндричної форми, які

мають мінімальну зовнішню поверхню при рівності діаметра  $D$  і висоти  $H$ . Для проектування циліндричних запарників це відношення допускається в межах 0,8–1,3. Тоді об'єм циліндричного запарника через його геометричні параметри:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} H, \text{ м}^3 \quad (9.15)$$

Беручи до уваги, що:

$$H = \frac{D}{0,8 \dots 1,3}, \text{ м} \quad (9.16)$$

та прирівнюючи між собою формули (6.13) і (6.14), отримаємо вираз для визначення діаметра запарника:

$$D = 3 \sqrt{\frac{(0,5 \dots 0,8) G \cdot \tau}{j \cdot \beta}}, \text{ м.} \quad (9.17)$$

На рівномірність прогрівання продукту в запарнику впливає конструкція розподільного паропроводу. Для рівномірного розподілу пари, що виходить з паророзподільника, необхідно, щоб сумарний переріз отворів на трубці ( $\Sigma F_0$ ) дорівнював внутрішньому діаметру паропроводу  $F_n$ . У випадку  $\Sigma F_0 < F_n$  збільшується час запарювання продукту, а коли  $\Sigma F_0 > F_n$  – зростає нерівномірність прогрівання.

Тоді умова рівномірного розподілу пари:

$$\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} n \cdot Z \quad (9.18)$$

де  $D_1$  – внутрішній діаметр паророзподільника, м;

$d$  – діаметр отворів на паропроводі, м;

$n$  – кількість отворів на паропроводі в одному ряду;

$Z$  – кількість рядів.

Кількість отворів  $n$  у ряду залежить від довжини  $L$  паророзподільника і кроку  $t$  отворів (рисунок 9.7)  $n = \frac{L}{t}$ .

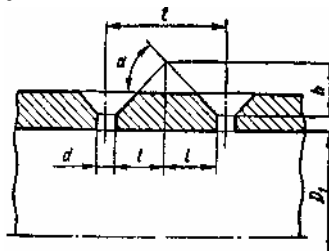


Рисунок 9.7 - Визначення діаметра, кількості та розміщення отворів на розподільному паропроводі

Експериментально встановлено, що рівномірне прогрівання продукту забезпечуватиметься в тому випадку, коли навколо паророзподільника по всій його довжині утворюється суцільний шар пари висотою  $h = 0,03-0,04$  м. Для виконання цієї умови при меншій кількості отворів на паропроводі зенкують отвори (рис. 6.7), крок яких  $t = 2l + d$ .

Величина  $l$  може бути виражена через висоту  $h$  суцільного шару і кут

виходу пари  $\alpha$ :

$$l = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ м.} \quad (9.19)$$

Тоді формула для визначення кроку отворів має вигляд:

$$t = \frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} + d, \text{ м.} \quad (9.20)$$

Підставляючи значення  $n$  і  $t$  в рівняння (9.18) і розв'язуючи його відносно  $d$ , маємо:

$$d = \frac{D_1}{2 \cdot L \cdot Z} \left( D_1 + \sqrt{D_1^2 + 8L \cdot Z \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}} \right), \text{ м} \quad (9.21)$$

Внутрішній діаметр паророзподільника визначаємо так. Кількість пари з умови пропускної здатності паропроводу:

$$P_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{4} v_{\text{п}} j_{\text{п}}, \text{ кг} \quad (9.22)$$

де  $v_{\text{п}}$  – швидкість руху пари, м/с. Експериментально встановлено, що  $v_{\text{п}} = 25\text{--}30$  м/с;

$j_{\text{п}}$  – щільність пари, кг/м<sup>3</sup>.

Знаючи, що годинна витрата пари на запарювання однієї порції:

$$p_1 = \frac{P}{\tau_2}, \text{ кг/год} \quad (9.23)$$

і підставляючи це значення в рівняння (6.21), знаходимо діаметр розподільного паропроводу:

$$D_1 = \frac{4P_1}{\pi \cdot v_{\text{п}} \cdot j_{\text{п}} \cdot \tau}, \text{ м.} \quad (9.24)$$

Діаметр патрубка для безперервного виходу конденсату визначається, з одного боку, з умови виходу всієї його кількості, а з іншого – з умови запобігання виходу пари із запарника:

$$d = \frac{4P_1}{\pi \cdot v_{\text{к}} \cdot j_{\text{к}}}, \text{ м} \quad (9.25)$$

де  $v_{\text{к}}$  – середня швидкість виходу конденсату (1,2–1,5 м/с);

$j_{\text{к}}$  – щільність конденсату, кг/м<sup>3</sup>.

Визначення основних параметрів запарників безперервної дії. Продуктивність запарника через основні його параметри:

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} v \cdot j \cdot \beta, \text{ кг/с} \quad (9.26)$$

де  $D$  – діаметр запарника, м;

$v$  – швидкість руху продукту в запарнику, м/с;

$j$  – щільність продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт заповнення запарника (0,85–0,90).

Швидкість руху продукту в запарнику залежить від його довжини та висоти (Н) і часу  $\tau_2$ , який необхідний для запарювання:

$$v = \frac{H}{\tau_2}, \text{ м/с} \quad (9.27)$$

Підставляючи цей вираз у (6.26), отримаємо:

$$G = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \cdot j \cdot \beta}{4 \cdot \tau_2}, \text{ кг/с} \quad (9.28)$$

Кількість пари, яка може пройти між частинками продукту, дорівнює:

$$P_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} v_{\text{п}} \cdot j_{\text{п}} (1 - K), \text{ кг} \quad (9.29)$$

де  $v_{\text{п}}$  – швидкість руху пари в запарнику, м/с;

$j_{\text{п}}$  – щільність пари, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коефіцієнт, що враховує порожнини між частинками продукту. Для коренеплюбоплодів  $K = 0,6-0,7$ .

Під час теплової обробки коренеплюбоплодів швидкість руху пари в запарнику з умови повної його конденсації залежить від розмірів плодів і перебуває в межах 0,20–0,26 м/с. При цьому більше значення величини швидкості береться для дрібних, а менше – для великих.

Кількість пари, яка проходить через запарник на сталому режимі роботи, дорівнює кількості пари, необхідної для нагрівання продукту та стінок запарника і компенсації втрат тепла в навколишнє середовище. При наявності ізоляції стінок запарника витратою пари на компенсацію теплових втрат та нагрівання стінок можна знехтувати з огляду на її незначну величину. Тоді витрата пари на нагрівання продукту дорівнює

$$P_1 = \frac{G \cdot C \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{п}})}{G_{\text{п}} - G_{\text{к}}}, \text{ кг} \quad (9.30)$$

де  $G$  – продуктивність запарника, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – теплоємність продукту, Дж/кг·град;

$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}$  – початкова і кінцева температури продукту, °С;

$G_{\text{п}}, G_{\text{к}}$  – ентальпія пари та конденсату, Дж/кг.

Підставляючи значення  $G$  у рівняння (6.29) і прирівнюючи витрату пари на нагрівання продукту із кількістю пари, яка може пройти між його частинками, отримаємо розрахункову формулу для визначення мінімальної висоти (довжини) запарника:

$$H_{\text{min}} = \frac{(G_{\text{п}} - G_{\text{к}}) \Gamma \cdot j_{\text{п}} \cdot V_{\text{п}} (1 - K)}{j \cdot C (t_{\text{к}} - t_{\text{п}}) \cdot \beta}, \text{ м.} \quad (9.31)$$

При відомому значенні  $H$  діаметр запарника можна визначити з рівняння продуктивності (9.27):

$$D = \sqrt{\frac{4G \cdot \tau_2}{\pi \cdot H \cdot j \cdot \beta}}, \text{ м.} \quad (9.32)$$

Діаметр розподільного паропроводу, крок і діаметр отворів на ньому, а також ККД визначаються за формулами, наведеними при розрахунку запарників періодичної дії.



## 10 Машина і обладнання для гранулювання і брикетування кормів

### 10.1 Процес пресування кормів і його суть

Пресування – спосіб обробки матеріалів тиском із метою їхнього ущільнення. У сільському господарстві пресуванню піддають трав'яне борошно, солом'яну і трав'яну різку, комбікорми, повнораціонні кормові суміші тощо. Переваги пресованих кормів полягають у зменшенні втрат поживних речовин при збереженні; зниженні витрат на транспортування і збереження; скороченні однорідності кормової суміші при збереженні, транспортуванні і роздаванні тощо.

Основними способами пресування кормів є гранулювання і брикетування. Сучасне устаткування для гранулювання і брикетування кормів дозволяє одержати з борошнистих кормових компостів гранули діаметром до 20 мм, довжиною 1,5...2,0 діаметра і щільністю 900... 1300 кг/м<sup>3</sup>, а брикети з трав'яної і солом'яної різки, повнораціонних кормових сумішей з розміром часток 20...70 мм – діаметром до 65-мм або нециліндричної форми з найбільшими розмірами 80 мм і щільністю 500...900 кг/м<sup>3</sup>.

Застосовувані в тваринництві комбікорми і кормові суміші становлять собою полідисперсну систему. Дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною – суміш органічних і мінеральних компонентів. Між частинками комбікорму знаходиться повітря, тобто він є одночасно і багатофазною системою, що складається із твердої, рідкої і газоподібної фаз. Основною механічною характеристикою такої системи є відсутність опору розтяжним зусиллям. Частки комбікорму стикаються одна з одною, однак ніякого зв'язку між ними немає.

При впливі нормальних умов комбікорм не відрізняється від суцільної системи і має повноцінний опір стискуванню. У даному випадку перпендикулярно діючі зусилля передаються через тверду речовину в місцях контакту частинок. При цьому частинки комбікорму та інші подібні дисперсні матеріали мають пружні та пластичні властивості, у зв'язку з чим при їхньому пресуванні необхідно враховувати час дії навантаження. Очевидно, при ущільненні розсипного комбікорму частинки його піддаються додатковому подрібненню і перетиранню, що сприяє створенню більшої контактуючої поверхні.

Розглянемо, як протікає процес пресування в прес-формі (рисунок 10.1 ), заповненою навіскою комбікорму.

Обсяг навіски  $V$  схематично можна представити як таку (рисунок 10.1 а), що складається з обсягу газоподібної фази  $V_r$ , обсягу твердої фази – сухої речовини  $V_c$  і обсягу рідкої фази  $V_{ж}$ , тобто

$$V = V_r + V_c + V_{ж}. \quad (10.1)$$

Кількісне співвідношення обсягів цих фаз як до, так і після пресування є визначальною умовою одержання міцного брикету або гранули. Під впливом зовнішнього тиску відбувається перетворення розсипного комбікорму у твердий виріб (рисунок 10.1 б). При цьому обсяг газоподібної фази різко зменшується. У процесі пресування комбікорм як трифазна система до кінця пресування досягає практично двофазного стану. В отриманому тілі міститься в основному суха речовина і вода. Відношення початкового обсягу розсипного комбікорму  $V$  до

обсягу отриманого брикету  $V_{бр}$  представляє коефіцієнт ущільнення:

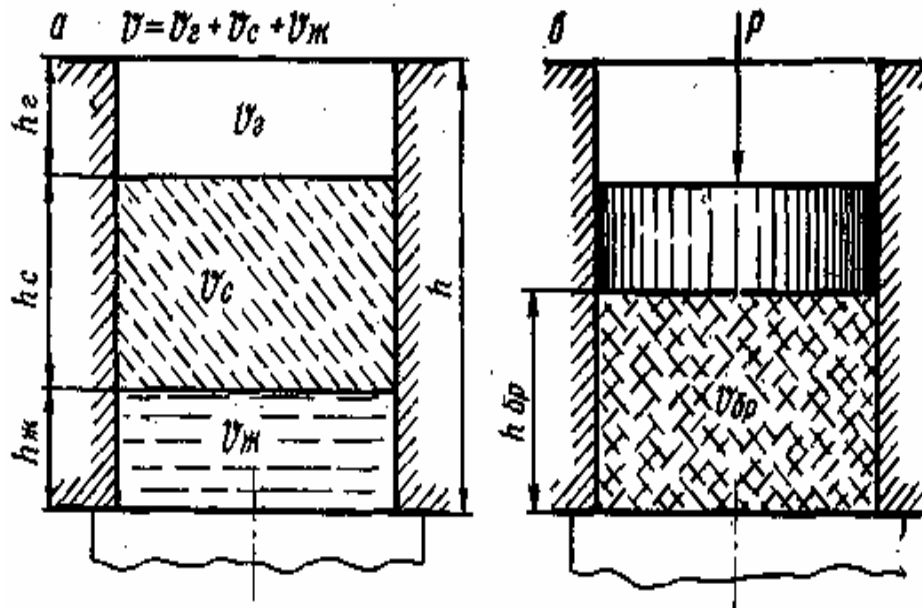


Рисунок 10.1 – Схема процесу брикетування комбікорму в закритій прес-формі: а – умовне зображення обсягу навіски комбікорму до пресування; б – перетворення навіски комбікорму в брикет під дією сили  $P$

$$\beta = \frac{V}{V_{бр}} = \frac{h}{h_{бр}} = \frac{\rho}{\gamma}, \quad (10.2)$$

де  $\gamma$  – об'ємна маса розсипного комбікорму;

$\rho$  – щільність отриманого брикету.

Відношення суми обсягів рідкої і газоподібної фаз до обсягу сухої речовини характеризується коефіцієнтом порозності

$$k = \frac{V_{ж} + V_{г}}{V_c}, \quad (10.3)$$

Визначальним (оптимальним) для пресування є тиск, необхідний для перетворення комбікорму з трифазної на двофазну систему. Фізична суть процесу полягає в тому, що тільки за умови повної евакуації газової фази можливе зближення частинок комбікорму до такого ступеня, коли починають виявлятися сили молекулярного зчеплення між ними. З наближенням зовнішнього тиску до оптимального відстань між частками зменшується, а загальна величина поверхні контактів збільшується. Це значить, що сили зчеплення між частинками за рахунок прилипання зростають.

Необхідно також враховувати фізичні властивості та хімічний склад інгредієнтів. Комбікорм складається з продуктів рослинного і тваринного походження, що містять в'язучі речовини (крохмаль тощо).

Внаслідок підвищення температури при пресуванні клейстеризація сприяє пресуванню брикетів і гранул.

Варто також враховувати, що при пресуванні комбікорму виявляються його пружні та пластичні властивості. У даному випадку пружність – це не тільки опір зусиллю, що пресує, але і здатність брикетів та гранул розширюватися після зняття тиску і віддалення стискаючих поверхонь. Тому для одержання міцних

гранул і брикетів із комбікорму недостатньо тільки спресувати їх, тобто перебороти сили пружності; необхідно також не допустити розширення їх після зняття тиску. Механізм грануло- і брикетування більш повно описується молекулярною теорією в сполученні з механічною.

Молекулярну теорію притягання розробив В. М. Наумович на основі термодинамічної теорії прилипання Б. В. Дерягіна. Відповідно до молекулярної теорії явище прилипання частинок одна до одної розглядається як причина з'єднання їх у міцний моноліт.

Автором механічної теорії пресування сільськогосподарських матеріалів є В.І.Особов. Ця теорія описує закономірності формування брикетів при пресуванні сіно-солом'яних матеріалів.

Утворення міцних брикетів або гранул обумовлюється різними факторами. Основні з них можна розділити на дві групи.

До першої групи відносяться фактори, що характеризують фізико-механічні властивості продукту. Основні з них: модуль пресування, що характеризує здатність продукту до ущільнення; вологість, температура і гранулометричний склад продукту.

До другої групи відносяться фактори, що характеризують умови пресування: питомий тиск пресування, тертя продукту в прес-інструменті, форма пресованого брикету і співвідношення його розмірів, режим пресування (циклічний чи безперервний), спосіб кондиціонування матеріалу перед пресуванням тощо.

Таким чином, гранули або брикети можуть утворюватися під дією різних сил: молекулярного зчеплення і прилипання, що виникають у результаті зближення частинок внаслідок впливу зовнішнього навантаження; в'язучих речовин, що вводяться у матеріал перед пресуванням або утворених у матеріалі в результаті його кондиціонування; механічних сил зчеплення, що виникають за рахунок переплетення частинок матеріалу при пресуванні.

### ***10.1.1 Поняття про гранулювання кормів***

Гранулювання (від лат. *granulum* – зернятко) – процес перетворення розсипних кормів шляхом пресування в гранули (щільні невеликі кульки, циліндрики, кубики).

Гранульовані комбікорми виготовляють вологим і сухим способами.

Промислове виробництво гранульованих комбікормів для сільськогосподарських тварин засновано на сухому способі пресування. При цьому для одержання міцних гранул корм, що піддається пресуванню, обробляють гострою парою і додають в нього мелясу або інші в'язучі добавки.

Технологічний процес вологого гранулювання протікає у такій послідовності: приймання, зважування і збереження сировини; очищення сировини від домішок; шлушіння плівчатої сировини; розмелення зернових продуктів та інших інгредієнтів; дозування інгредієнтів за заданим рецептом; змішування інгредієнтів; контрольне просіювання кормової суміші; зволоження кормової суміші; пресування; сушіння гранул; охолодження та сортування гранул; вибій, зважування і збереження готової продукції. Вологе пресування кормів забезпечує одержання гранул високої щільності.

### **10.1.2 Основи технології брикетування кормів**

Ідея пресування сипучих матеріалів в брикети належить російському винахіднику Н. П. Вишнякову. Ще в 30-і роки 19 століття він розробив метод брикетування вугілля. Це поклало початок упровадженню пресування сипучих мас у різних галузях промисловості. Виробництво кормових брикетів у нашій країні здійснюється на комбікормових та інших зернопереробних підприємствах.

Брикетовані корми широко застосовуються для годівлі сільськогосподарських тварин. Їх готують із суміші грубих кормів (солони, стрижнів кукурудзяних початків, вівсяної, ячмінної і горохової лузги – 83...85%) з концентрованими (жмих, макуха, крейда, карбамід). Як в'язучий компонент застосовують мелясу (до 5%). Організація виробництва їх на кукурудзообробних заводах, круп'яних і комбікормових підприємствах сприяє збільшенню балансу грубих кормів у країні. Кормові брикети із грубих кормів з концентратами добре поїдаються тваринами.

Досвід показує, що повнораціонні брикети за фізичною формою відповідають фізіологічним потребам молочних кормів більшою мірою, ніж гранули з кормових сумішей дрібного помелу. Можливість уникнути дрібного подрібнювання забезпечує зниження енерговитрат на 40...45%. Тому вироблення кормових брикетів із них із кожним роком збільшується.

Повнораціонні брикети для жуйних тварин справедливо називають кормом майбутнього. У траві, висушеній у високотемпературних сушарках не пізніше 2...2,5 год. після скошування, практично цілком зберігаються поживні речовини. До складу повнораціонних брикетів, крім зеленої маси, можуть входити ячмінь, бурячний жом, шрот, премікси та інші компоненти. Кількість концентратів у них повинно бути 30...50%. Для молочної і м'ясної худоби випускаються брикети різного складу і форми. Корови краще поїдають брикети діаметром 30...40 мм при порівняно невеликій щільності – 400...550 кг/м<sup>3</sup>. Перевага приготування брикетів для жуйних полягає в тому, що дозволяє сполучити в них у визначеному співвідношенні всі необхідні компоненти раціону бажаної величини.

## **10.2 Обладнання для гранулювання та брикетування кормів**

### **10.2.1 Класифікація та будова пресів для гранулювання кормів**

Преси для гранулювання кормів розрізняються: за принципом пресування в робочих органах і поділяються:

-на формуючі машини, що пресують матеріал у закритій камері, і на машини, що видавлюють матеріал, де цей процес протікає за рахунок виникаючого опору видавлюванню від тертя матеріалу по стінках камери пресування;

-за типом робочих органів, що створюють зусилля пресування – на плунжерні (штемпельні, шнекові, клинові, шестеренчаті) і вальцьові;

-за кінематичними і конструктивними особливостями робочих органів;

у залежності від конструктивних особливостей прес-гранулятори можна розділити на п'ять типів (рисунок 10.2).

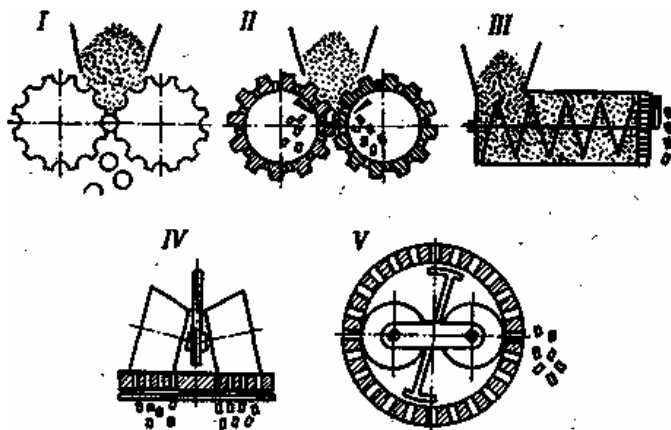


Рисунок 10.2 - Принципові схеми робочих органів прес-грануляторів

*Перший тип:* формуючі преси, в яких відбувається утворення гранул при проходженні продукту між двома ячеїстими вальцями, що обертаються назустріч один одному.

Продукт, потрапляючи у проміжок між вальцями, піддається видавлюванню, а потім випадає з нього у вигляді гранул визначених геометричних розмірів. Внаслідок короткочасного впливу зусилля пресування одержати міцні гранули з комбікорму на таких машинах неможливо. До недоліків таких пресів відносяться також їх низька продуктивність і великі питомі витрати електроенергії. Ці ж недоліки властиві і плунжерним формуючим пресам, у зв'язку з чим як перші, так і останні дуже обмежено застосовуються для гранулювання комбікормів.

*Другий тип:* шестеренчаті та циліндричні преси. Робочим органом шестеренчатих пресів служать пари зубчатих коліс, що знаходяться у зачепленні і обертаються назустріч одне одному. Вихідна сировина нагнітається зубцями в отвори, утворені установкою шестерень. Гранули, що виходять з отворів, зрізуються нерухомими ножами.

Циліндричні видавлюючі преси становлять собою два циліндри з отворами по всій поверхні. При обертанні їх назустріч один одному маса захоплюється циліндрами і продавлюється через отвори всередину циліндра, де гранули зрізуються ножами.

Шестеренчаті та циліндричні преси застосовують при виробництві гранул діаметром 10...13,5 мм.

*Третій тип:* шнекові гранулятори, які можуть бути циліндричними і конічними, одно- і двохшнековими, з горизонтальним і вертикальним розташуванням шнеків. У кожному з них сировина захоплюється шнеком, переміщується, додатково подрібнюється, перетирається, нагнітається до матриці і продавлюється через отвори відповідного діаметра. Гранули, що виходять з матриці, зрізуються обертовими або нерухомими ножами. У таких пресах застосовують плоскі і сферичні (сегментні) нерухомі матриці, розташовані вертикально або горизонтально. Шнекові преси застосовують головним чином для одержання гранул вологим способом.

*Четвертий тип:* преси з плоскою горизонтальною обертовою матрицею, через отвори якої матеріал продавлюється пресуючими вальцями і формується в гранули. Вальці можуть бути конічними (усічений конус) або циліндричними. Вони обертаються від дотику з матрицею (пасивні вальці) або мають

індивідуальний привід (активні вальці). У пресах такого типу через різницю в колових швидкостях нерівномірно зношуються матриці і вальці. Недоліком є також викидання матеріалу під дією відцентрових сил до периметра матриці і, як наслідок цього, нерівномірність навантаження на її робочу поверхню.

*П'ятий тип:* преси з кільцевою горизонтальною або вертикальною обертовою матрицею. Через формуючі отвори матриці матеріал продавлюється пресуючими вальцями (активними або пасивними). Головною особливістю робочих органів є те, що лінійні швидкості кільцевої матриці і пресуючого вальця у точці їхнього дотику рівні, тобто відсутнє тертя від ковзання, і весь тиск використовується для пресування матеріалу.

Найбільш широко поширені преси з вертикальною кільцевою обертовою матрицею. Їх перевага полягає в можливості швидкої та легкої заміни матриць і вальців при переході з одного діаметра гранул на інший, зручному регулюванні зрізуючих ножів, надійному захисті підшипників від потрапляння в них пресуючого матеріалу (комбікорму).

Пресс ДГ призначений для гранулювання комбікормів способом сухого пресування (рисунок 10.3).

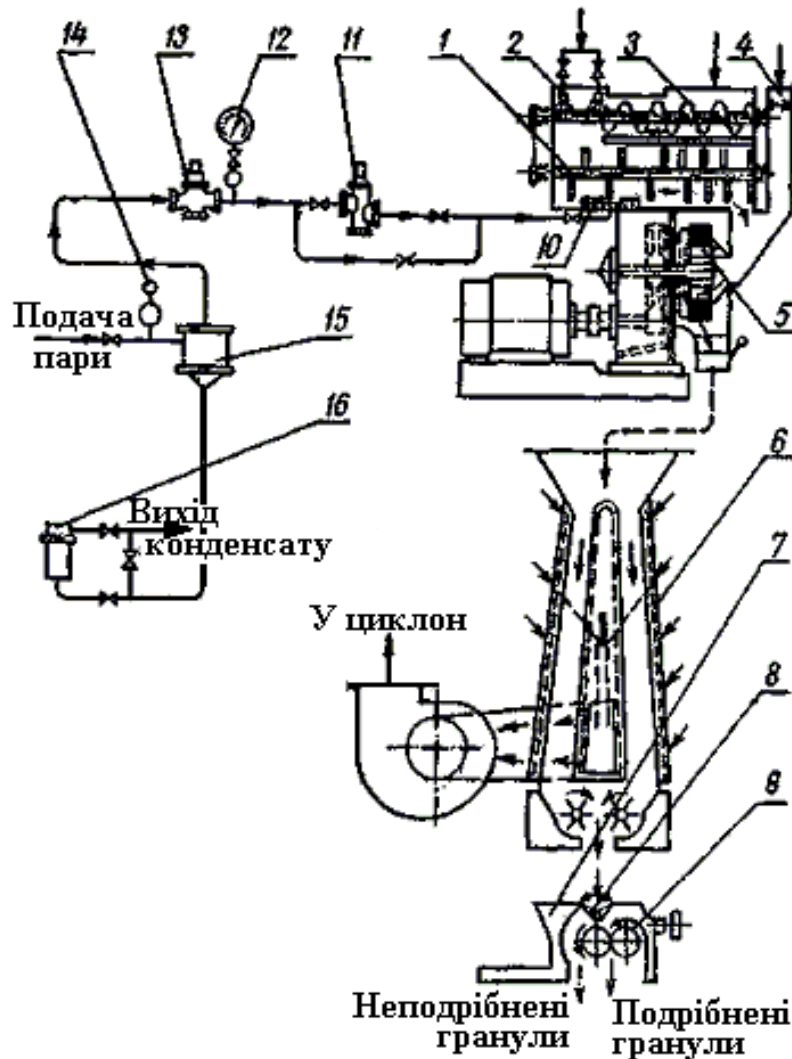


Рисунок 10.3 – Технологічна схема роботи установки ДГ для гранулювання комбікорму:

1 – змішувач; 2 – форсунки; 3 – поживлювач; 4 – патрубок; 5 – вертикальна кільцева матриця; 6 – охолоджувальна колонка; 7 – подрібнювачі; 8 – перекидний

клапан; 9 – валець; 10 – парова камера; 11 – автоматичний паровий клапан; 12 – манометр ВЕР; 13 – редукційний клапан; 14 – манометр Ш-100; 15 – сепаратор пари; 16 – конденсатовідвідник.

Подача комбікорму в змішувач здійснюється шнековим живильником із одночасним зволоженням гарячою водою (80 °С) через розпилюючі форсунки.. Вологість комбікорму не повинна перевищувати 12...14%. У змішувачі комбікорм пом'якшується паром при температурі 120...140 °С, після чого він надходить у пресуючу камеру. Температура гранул, що виходять з її, не перевищує 50...80°С, а вологість – 13...17%.

З пресу гранули надходять в охолоджувальну установку. Після охолодження температура гранул перевищує температуру навколишнього середовища на 5...6°С.

Прес ДГ у комплекті має 7 матриць з отворами діаметром 3; 5; 8; 10; 12; 17 і 19 мм і має пристосування для виробництва крупки з гранул. Продуктивність його 8...10 т/год., розрахункова потужність – 78 кВт, витрата пари – 500...600 кг./год.

При використанні в'язучих речовин (солоного гідролу або суміші меляси і кукурудзяного екстракту у співвідношенні 1:1) відпадає необхідність у застосуванні пари, продуктивність установки підвищується на 30%, витрати на виробництво 1 т кормів знижуються на 15%.

Устаткування ОГМ-0.8А та ОГМ-1,5 призначене для гранулювання трав'яного борошна і працює в комплекті з агрегатами для його приготування.

ОГМ-1,5 становить собою комплект устаткування, об'єднаного у загальну технологічну схему для виконання відповідних операцій та процесів у стаціонарних умовах (рисунок 10.4). Його використовують у комплекті з агрегатом АВМ-1,5.

Трав'яне борошно через забірник 1 разом з повітрям потрапляє в циклон 6, звідки після дозування шлюзовим затвором подається в бункер 5, який обладнаний зрихлювачем. Вторинне очищення повітря здійснюється у циклоні 7. Рівномірну подачу борошна з бункера 5 через зволожувач 3 у змішувач 2 забезпечує шнековий дозатор 4. Частоту обертання шнека можна регулювати за допомогою варіатора. У корпусі дозатора є спеціальні дверцята, що відкриваються у випадку забивання дозатора.

В установці використовується змішувач з лопатевим робочим органом. Лопатки встановлені по гвинтовій лінії під кутом 30° до осі вала. Як було зазначено вище, такий робочий орган забезпечує інтенсивне перемішування продукту і рівномірне переміщення його вздовж осі, створюючи умови для поглинання частинками борошна рідких добавок. Змішувач має запобіжний пристрій для відключення подачі борошна в нього при забиванні пресуючої камери. Зволоження (кондиціювання) борошна у змішувачі роблять водою або паром до відносної вологості 14...16%. У змішувач можуть подаватись для введення в борошно також в'язучі речовини, наприклад, меляса і антиоксиданти.

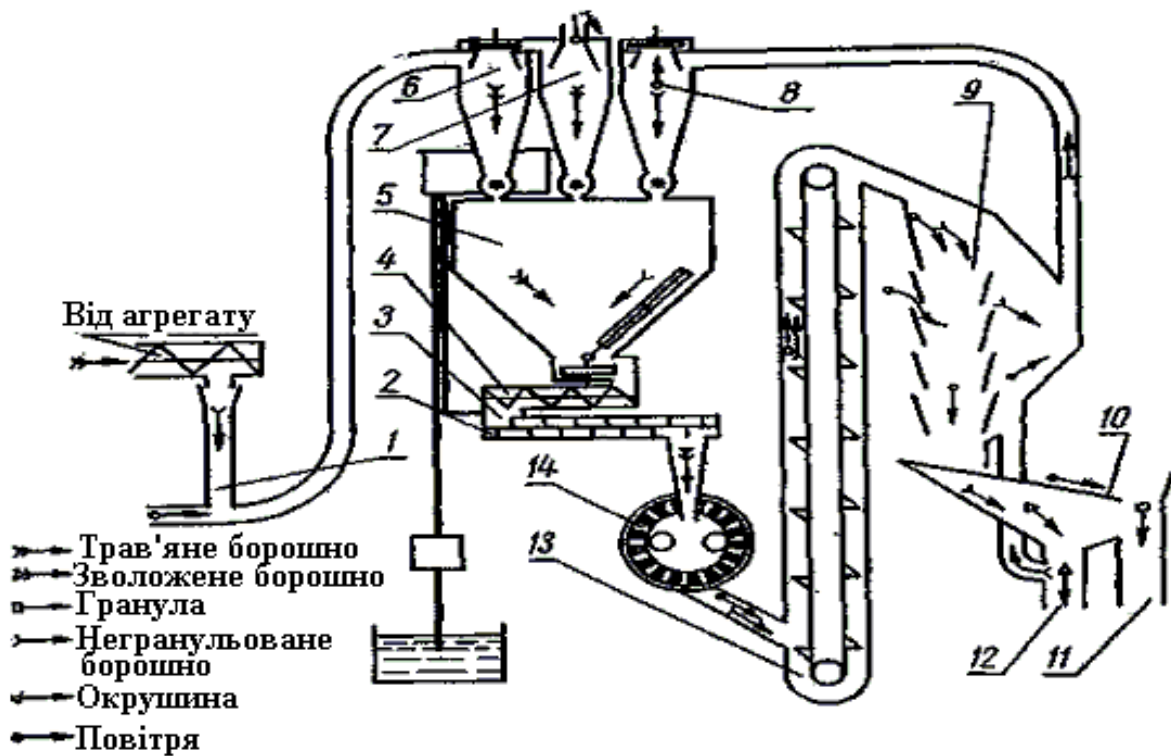


Рисунок 10.4 - Технологічна схема обладнання ОГМ-1,5 для гранулювання трав'яного борошна

Із змішувача зволожено борошно надходить в обертову кільцеву матрицю і двома пресуючими вальцями (роллерами) продавлюється через радіальні отвори матриці, на виході з яких нерухомим ножом зрізується у вигляді гранул визначеної довжини.

Прес-гранулятор у комплекті має 5 змінних матриць із формуючими отворами діаметром 6; 8; 10; 12 і 16 мм.

Отримані гранули норією 13 подаються в охолоджувальну колонку 9, де охолоджуються повітрям із циклону 8. Одночасно у цей же циклон відсмоктуються крихти і гранули, що зруйнувалися, і через шлюзовий затвор повертаються в бункер 5.

Охолодження гранул проводиться з метою приведення їхньої температури у відповідність до теплового і вологого режимів навколишнього середовища.

З охолоджувальної колонки гранули потрапляють на закріпленій за допомогою пружин і встановлений під кутом  $15^\circ$  решетній стан. Відбірник решітного стану має дві горловини: горловину 11 для відведення цілих гранул і горловину 12 для направлення в циклон 8 крихти від зруйнованих гранул. Устаткування ОГМ-0.8А відрізняється від розглянутого розмірами деяких вузлів і використовується у комплекті з агрегатами АВМ-0.4А и АВМ-0,65. Такі ж вузли, як система подачі рідких добавок, циклони, охолоджувальна колонка і сортувальна установка є цілком уніфікованими.

Продуктивність ОГМ-1,5 і ОГМ-0.8А відповідно складає 1,6...1,8 і 0,9... 1,1 т/год. Сумарна потужність електродвигунів – 98 і 59,8 кВт відповідно. Обслуговує установки один оператор.

У загальному випадку продуктивність пресів з обертовою матрицею Г.Я.Фарбман рекомендує визначати за формулою



$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} \Delta l z_0 z_n \rho n', \text{ кг/с}, \quad (10.4)$$

де  $d_0$  — діаметр формуючого отвору матриці, м;

$\Delta l$  — товщина шару матеріалу, що запресовується в отвір матриці, рівна  $(4...6) \cdot 10^{-4}$  м;

$z_0$  — число формуючих отворів у матриці;

$z_n$  — число пресуючих вальців;

$\rho$  — щільність матеріалу у момент пресування,  $\text{кг/м}^3$ ;

$n'$  — частота обертання матриці,  $\text{с}^{-1}$ .

Виражаючи частоту обертання матриці через кутову швидкість, одержимо

$$Q = 0,125 \cdot d_0^2 \Delta l \cdot z_0 \cdot z_n \cdot \rho \cdot \omega, \text{ кг/с}. \quad (10.5)$$

### **10.2.2 Преси для брикетування кормів.**

Для брикетування кормів застосовуються такі типи пресів: штемпельні (з відкритою і закритою матрицею), вальцьові, кільцеві, шнекові і мундштукові. У комбікормовій промисловості застосовуються головним чином преси штемпельного типу. Вони бувають одно-, дво- і чотириштемпельними. Найбільшого поширення набули одно- і двоштемпельні преси.

Для приготування повнораціонних брикетів застосовуються головним чином штемпельні та кільцеві преси. Перетворення сипучої маси на брикет у штемпельних пресах здійснюється в матричному каналі під дією штемпеля, що робить зворотно-поступальні рухи. Поперечний переріз матричного каналу визначає форму брикету.

Пресовані розсипні комбікорми або повнораціонні суміші мають пружні властивості. Тому для одержання з них міцних брикетів необхідно забезпечити відносно високий питомий тиск пресування і витримку брикетів протягом деякого часу під тиском.

У пресах штемпельного типу з відкритою матрицею час витримки брикету під тиском визначається швидкістю проходження його через матричний канал. Розглянемо процес утворення брикету у штемпельному пресі (рисунок 10.5).

У вихідному положенні I штемпеля 1 комбікорм подається зверху в матричний канал 2. При переміщенні штемпеля в положення II корм, що піддається пресуванню, буде проштовхуватися ним у матричний канал, при цьому завантажувальний отвір 3 каналу перекривається штемпелем.

У положенні III штемпеля відбувається початкове ущільнення комбікорму із видаленням газової фази і утворенням брикету. У міру росту деформацій процес пресування протікає з поступовим збільшенням питомого тиску пресування. Тиск, що діє на комбікорм, що брикетується в міру його ущільнення передається наступному спресованому брикету і далі всій брикетній стрічці.

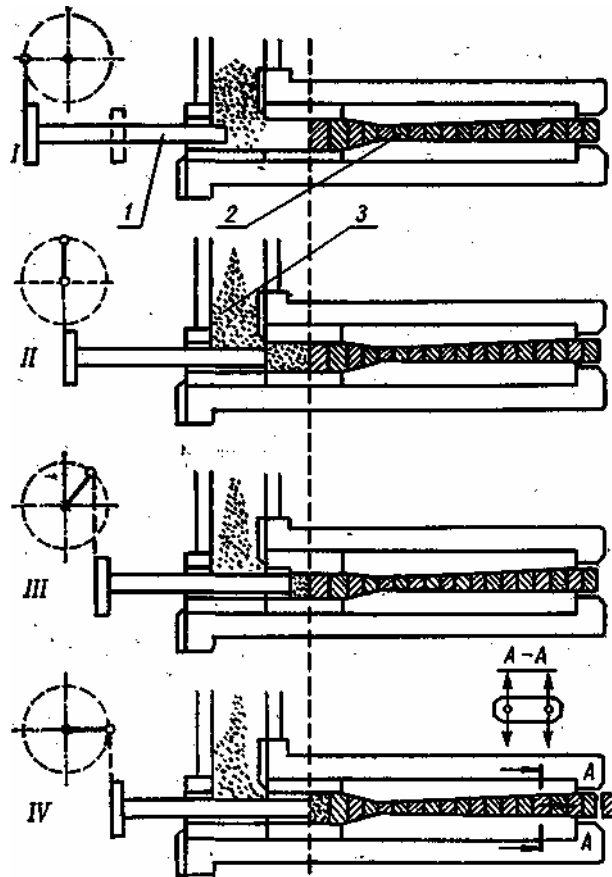


Рисунок 10.5 - Схема утворення брикету у пресах штемпельного типу з відкритою матрицею: 1 – штемпель; 2 – матричний канал; 3 – живильний пристрій

У положенні IV штемпель проштовхує всю стрічку брикетів, що знаходиться перед ним, на відстань, рівну товщині знову утвореного брикету. При зворотному ході штемпель відкриває завантажувальний отвір 3 і переміщається у вихідне положення. Потім весь цикл повторюється у тій же послідовності.

Час витримки брикету під тиском у пресах штемпельного типу залежить від середньої товщини брикету, довжини матричного каналу і числа ходів штемпеля за хвилину. Визначити його можна за такою формулою:

$$T = 60 \frac{l}{bn} \text{ с}, \quad (10.6)$$

де  $l$  – довжина матричного каналу (пресуючої частини), мм;

$b$  – середня товщина брикету, мм;

$n$  – число ходів штемпеля за хвилину.

На рисунку 10.6 показано діаграму брикетування комбікорму на швидкохідному двоштемпельному пресі ПТБ-2М, що виражає змінні зусилля пресування у залежності від робочого ходу штемпеля.

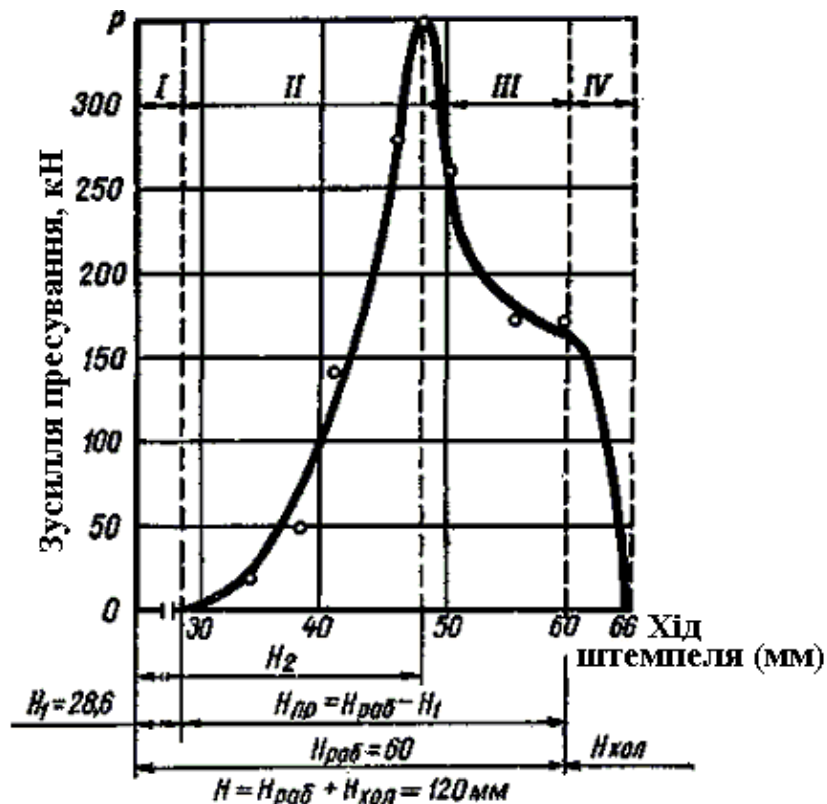


Рисунок 10.6 - Діаграма брикетування комбікорму. I - зона видалення повітря; II - зона пресування (формування брикету); III - зона переміщення стрічки брикетів; IV - зона пружної протидії

Брикетуванню піддавалися комбікорми за рецептом № III-1Р з відносною вологістю 17,2%. З діаграми випливає, що відсікання порції комбікорму штемпелем і початкове ущільнення її відбувається за рахунок евакуації газової фази без помітного зусилля пресування. Величина робочого ходу при цьому складає 28,6 мм, а зусилля пресування фактично дорівнює нулю. Назвемо цю ділянку зоною видалення повітря з пресованого комбікорму (I). При подальшому ході штемпеля до 48,3 мм зусилля пресування різко зростає і досягає свого максимального значення (348 кН). Ця ділянка становить собою зону пресування, коли комбікорм із трифазної системи практично перетворюється на двофазну (зона II). Одночасно з закінченням формування брикету відбувається зрушення стрічки раніше утворених брикетів і слугуючої як упор для наступних. Наприкінці зони переміщення стрічки брикетів на товщину знову утвореного (III) величина зусилля знижується до 160 кН. Величина робочого ходу при цьому складає близько 12 мм.

При зворотньому ході на відстань 6 мм штемпель знаходиться під напруженням за рахунок сил пружної протидії стрічки брикетів (зона IV).

При перерахуванні загального зусилля пресування на питоме останнє змінювалося від 85 до 110 мПа.

Узагальнюючи вищевикладене і з огляду на положення молекулярної та механічної теорій брикетування, можна зробити висновок про те, що процес утворення брикетів у пресах штемпельного типу протікає за чотири характерними стадіями:

початкове зближення частинок комбікорму, при якому відбувається

евакуація газової фази і різке зменшення за рахунок цього об'єму навіски пресованого комбікорму;

наступне зближення частинок комбікорму до плітлості контактів, при якій відбувається їхній відносний зсув і дроблення, що супроводжується пружними і пластичними деформаціями;

зближення деформованих частинок комбікорму до такої міри, при якій починають виявлятися сили молекулярного притягання і зчеплення між ними, а також механічне переплетення волокнистих компонентів, що в цілому призводить до утворення компактного тіла заданої форми – брикету. У цей момент відбувається також перерозподіл вологи і часткове віджимання її до поверхневих шарів, що сприяє змащенню при проштовхуванні брикетів по матричному каналу;

подолання пружних деформацій спресованого брикету за рахунок витримки його під тиском протягом часу, що залежить від періоду релаксації напружень для даного виду корму.

Штемпельні преси, застосовувані для виробництва кормових брикетів, розвивають питомий тиск пресування до 120...150 МПа, а довжина їхніх матричних каналів буває до 1 м, що забезпечує витримку брикету під тиском протягом 17...25 с. За даними В. І. Федяєва, при тривалій роботі штемпельного преса температура матриць внаслідок тертя комбікорму по їхнім стінкам досягає 200°C. Верхні шари кормового брикету при цьому прогріваються до 40...50°C.

Основними вузлами преса штемпельного типу (рисунок 10.7) є: пресувальна голівка, кривошипно-шатунний механізм, маховик, станина, система змащення, лотки і система привода. Пресувальний канал складається, як правило, зі змінних матриць. Вертикальні стінки утворюють бічні планки і клини, у пазах яких розташовано сталеві смуги. Для зміни розміру матричного каналу по висоті з метою одержання більш міцних брикетів прес обладнують спеціальним пристроєм, що становить собою шарнірну опору, за допомогою якої можна гвинтовим механізмом піднімати або опускати траверсу пресувальної голівки.

Штемпельні преси мають також направляючі лотки для брикетів. Брикети заповнюють всю довжину лотків і пересуваються під тиском. Так забезпечується додатковий час витримки брикетів під тиском, що запобігає розширенню їх по виходу з матричних каналів. Довжина лотків може бути 25...30 м і більше. Вони складаються з окремих прямолінійних ділянок, розташованих в одній чи різних площинах. З'єднання їх здійснюється переходниками відповідного радіуса. По довжині лотків можуть бути влаштовані заслінки, при відкритті яких брикети провалюються.

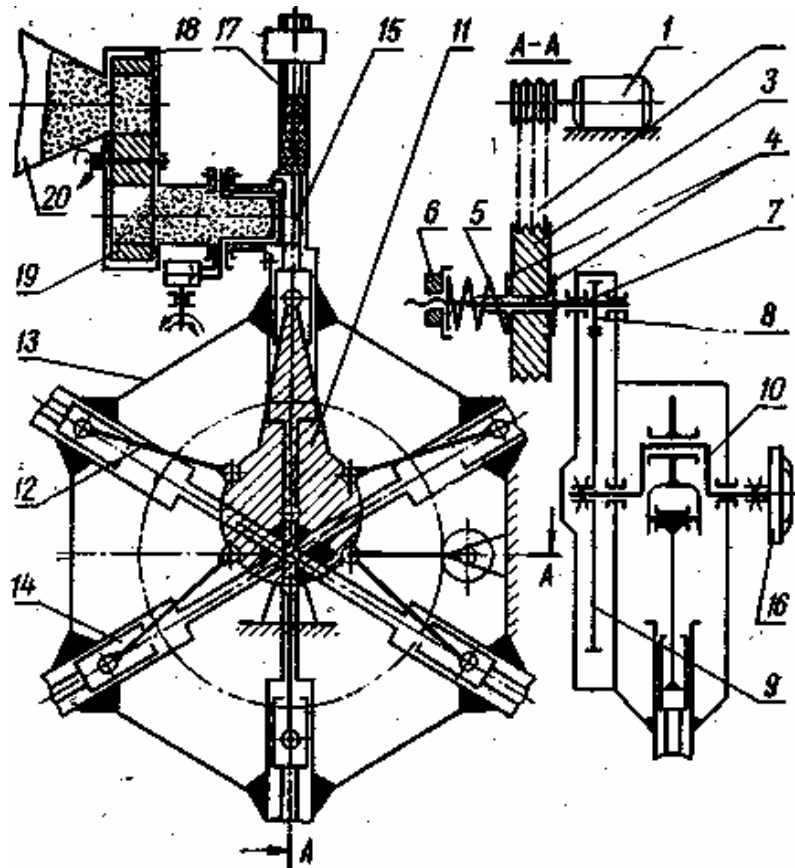


Рисунок 10.7 - Схема багатоштемпельного преса: 1 – електродвигун; 1 – клинопасова передача; 3 – шків-маховик; 4 – натискні диски; 5 – пружина; 6 – гайка; 7 – вал; 8, 9 – зубчасті колеса; 10 – ексцентрик; 11 – голівка основного шатуна; 12 – причіпний шатун; 13 – направляюча рама; 14 – повзун; 15 – штемпель; 16 – кулачок; 17 – матричний канал; 18, 19 – дисковий живильник; 20 – бункер

Для брикетування грубих кормів створено оригінальні конструкції пресів та іншого технологічного устаткування. У ряді господарств успішно застосовуються з цією метою преси ПБС-3,0 ВИМ, ПБС-6 тощо. Зокрема, конструкція багатоштемпельного брикетного преса ПБС-6 забезпечує попереднє ущільнення матеріалу перед пресуванням і примусовим завантаженням. Привід штемпельів здійснюється від кривошипно-шатунного механізму з причіпними шатунами. Це дає можливість збільшити число матричних каналів, а отже, і продуктивність преса.

При визначенні продуктивності штемпельних брикетних пресів розрізняють штучну і масову продуктивність. Штучна теоретична продуктивність визначається за формулою

$$Q_{шт} = 60 \cdot i \cdot n, \text{ шт/год}, \quad (10.7)$$

де  $i$  – число штемпельів у пресі;

$n$  – число ходів штемпеля за хвилину або частота обертання колінчатого вала преса за хвилину.

Масова теоретична продуктивність штемпельного преса дорівнює

$$Q_{м} = 60 \cdot i \cdot n \cdot g \text{ кг/год}, \quad (10.8)$$

де  $g$  – маса одного брикету, кг.

### **10.2.3 Комплекти устаткування для пресування кормів**

Широкого поширення та високої ефективності в останні роки забезпечує застосування багатокомпонентних гранульованих і брикетованих кормових сумішей, збалансованих за поживністю у залежності від вікової групи тварин. Як вихідний матеріал використовуються відходи рослинництва – солома, що попередньо обробляється розчином їдкого натру, який забезпечує підвищення її поживної цінності в 1,2...2 рази. Це дозволяє підвищити її поїдаємість тваринами, тобто більш раціонально використовувати кормові ресурси.

Для виробництва багатокомпонентних пресованих кормових сумішей промисловістю випускаються спеціальні комплекти устаткування.

Комплект ОПК-2 має змінні матриці, що дозволяє виготовляти з різних кормових сумішей як брикети, так і гранули.

При брикетуванні кормів установлюють вертикальну кільцеву матрицю з розмірами отворів 34\*34 мм, а при гранулюванні використовують матриці з діаметром отворів 5, 10 і 14 мм.

Основними вузлами ОПК-2 (рисунок 10.8) є: завантажувальний транспортер 1; дозатор 2; накопичувальний бункер-змішувач 5; транспортер крихти 4; три вентилятори 5, 10, 11; два циклони 6, 9; заборник різки 7; транспортер-живильник різки з бітерним вирівнювачем 8; камера попереднього сортування 12; камера вивантаження брикетів і відсмоктування пилу 13; вібровивантажувач 14; охолоджувальна колонка 15; норія 16; стрічковий транспортер 17; прес зі змінними матрицями 18; система введення пари 19; змішувач-живильник 20; система введення води або розчинів 21.

При брикетуванні трав'яна або солом'яна різка подається до заборника 7 і вентилятором 10 засмоктується в циклон 9. З останнього вона потрапляє на транспортер-живильник 8, де потік маси вирівнюється бітерним пристроєм і спрямовується в змішувач-живильник 20. Одночасно у нього можна подавати суху пару або воду, в'язучий розчин з метою кондиціонування матеріалу перед пресуванням. Зволожена у змішувачі різка рівномірно надходить у камеру пресування. Отримані брикети транспортером 17 і норією 16 подаються в охолоджувальну колонку 15 на охолодження і подальше сортування. Цілі брикети через камеру 13 надходять на збереження, а непресована маса-(крихта, пил) відсмоктується через циклон 6 і транспортером 4 подається змішувач преса. Брикети охолоджуються повітрям від вентилятора.

При брикетуванні повнораціонних кормових сумішей у змішувач-живильник 20 одночасно з трав'яною або солом'яною різкою подають дозатором 2 концентровані корми і трав'яне борошно, які попередньо завантажують у накопичувальний бункер-змішувач 3 за допомогою завантажувального транспортера 1.

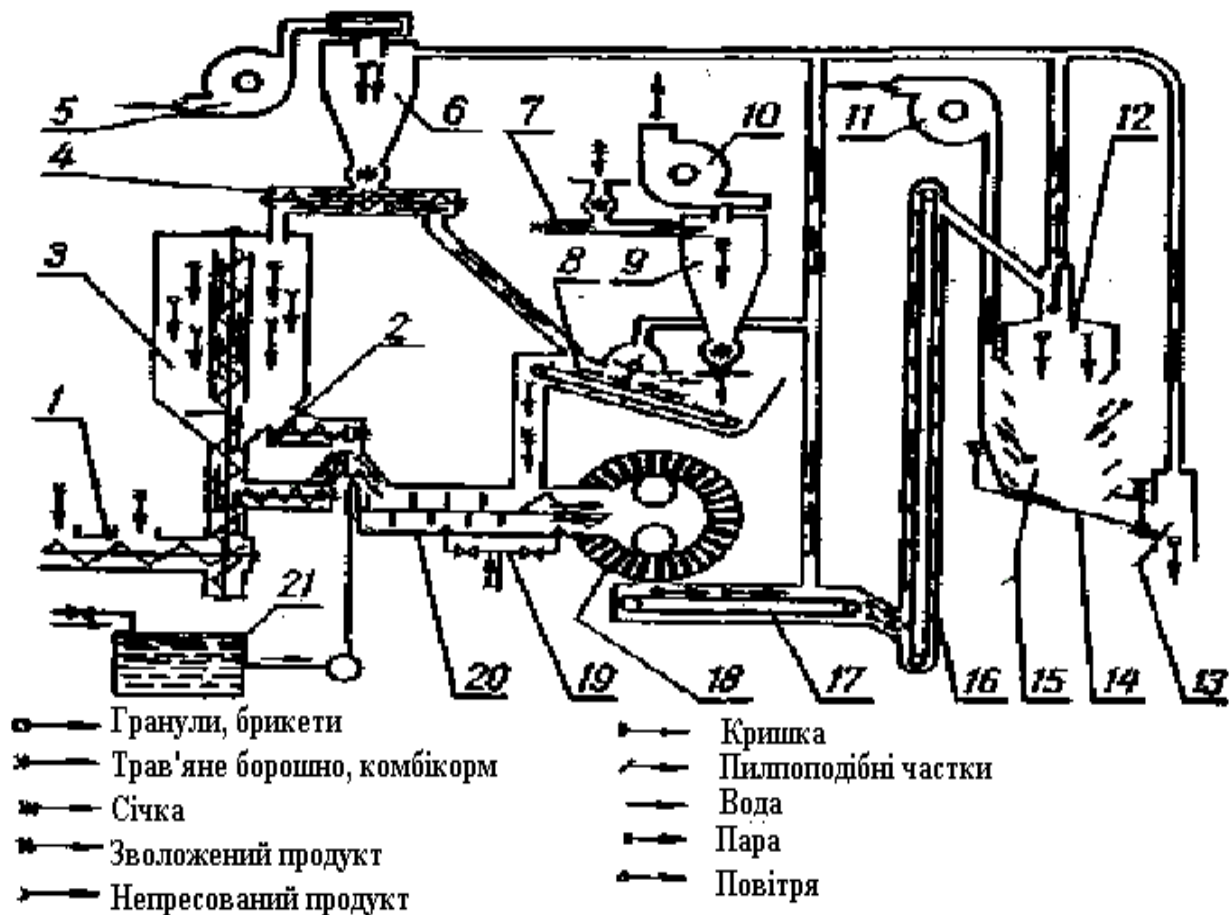


Рисунок 10.8 - Технологічна схема устаткування для пресування кормів ОПК-2

При використанні устаткування ОПК-2 для гранулювання кормів трав'яне борошно і концентрати подають у змішувач 20 з накопичувального бункера-змішувача 3, а устаткування для подачі різки відмикають.

Усі інші операції виконуються аналогічно описаним вище.

Устаткування ОПК-2 доцільно використовувати у комплекті з агрегатом для приготування вітамінного трав'яного борошна АВМ-1,5 або з іншим аналогічним агрегатом.

Продуктивність ОПК-2 при гранулюванні трав'яного борошна з діаметром гранул 10 мм складає 1700, а комбікорму – до 6000 кг/год, при брикетуванні трав'яної різки – 1700, а повнораціонних кормових сумішей на основі грубих кормів – 1500..-2500 кг/год.

Устаткування для гранулювання і брикетування кормів ОПК-2А призначено для гранулювання трав'яного борошна і борошнистих кормових сумішей, брикетування трав'яної різки, біологічного врожаю зернових культур у стадії молочно-воскової спілості, а також кормових сумішей на основі грубих кормів.

Основні вузли: прес, змішувач, системи накопичення і дозування борошна, забору різки, подачі води і пари, охолодження і сортування, електрошафа.

Постачання устаткування передбачається у чотирьох виконаннях: ОПК-2А – устаткування для гранулювання і брикетування кормів універсальне, з набором змінних робочих органів для приготування гранул із трав'яного борошна і комбікормів та брикетів із трав'яної різки і кормосумішей на основі різки із

соломи;

ОПК-2А-1—устаткування для гранулювання трав'яного борошна, вироблюваного агрегатами для сушіння кормів типу АВМ-1,5 і для гранулювання комбікормів; ОПК-2А-1ск —устаткування для гранулювання комбікормів в основному для птиці і становить собою устаткування ОПК-2А-1, укомплектоване установкою для виробництва гранульованої крупки для молодняку птиці;

ОПК-2А-2— устаткування для брикетування кормів, відрізняється від універсального виконання ОПК-2А тим, що укомплектовано тільки робочими органами для брикетування.

Для здрібнювання соломи рекомендується застосовувати подрібнювачі ІСК-3 та ІРТ-165 або молоткові дробарки сушарок з діаметром отворів решета 15...20 мм. Максимальна довжина частинок різки повинна бути 30...50 мм.

Одержання міцних брикетів на основі різки соломи забезпечує введення у них 30...40% комбікормів. Рекомендується у всіх випадках, особливо при вмісті комбікормів, менше 30%, застосовувати в'язучі речовини, наприклад мелясу (5...7%). Як в'язуча речовина при термохімічній обробці соломи може використовуватися каустична або кальцинована сода.

Найменші енерговитрати при пресуванні і найкращу якість готових гранул та брикетів одержують при вологості кормосуміші 15...16%. Брикети такої вологості придатні для тривалого збереження. Якщо до складу кормосуміші входить 40% комбікормів вологістю 13%, то вологість соломи може бути 18%. Таку вологість солома буде мати, якщо вона зберігається у закритих приміщеннях, і штучна досушка її не потрібна. Однак ,якщо солома скиртується під відкритим небом, перед брикетуванням необхідна її досушка на агрегатах для сушіння кормів.

Стабільність технологічного процесу брикетного преса зберігається при вологості до 20...25%. Такі брикети можуть зберігатися не більше двох діб. Технологію готування вологих брикетів можна рекомендувати, якщо вони відразу відправляються на ферми для згодовування. Охолодження брикетів у даному випадку необов'язкове.

Комплект устаткування КУ-2 для виробництва багатокомпонентних пресованих кормових сумішей призначений для цілорічного виробництва брикетованих або гранульованих кормосумішей на основі соломи, обробленої їдким натром і збагаченої балансуєчими кормовими добавками. Монтується як самостійний кормоцех або додається до існуючих ліній зі зневоднення зелених кормів. КУ-2 складається із декількох ліній: обробки соломи ЛОС-1; концентрованих кормів КОРК-15.04.00.000; меляси і карбаміду ОМК-4,1; приготування і дозування розчину натру їдкого ЗОШ-2; пресування кормосумішей ОПК-2 (ОПК-2А).

Комплект призначений для приготування: гранул із соломи, обробленої їдким натром (номінальна продуктивність 1,6 т/год); гранул із сумішей (комбікорм, солома, трав'яне борошно, меляса, карбамід) (номінальна продуктивність 2,5 т/год); брикетів із соломи, обробленої їдким натром (номінальна продуктивність 1,6 т/год); брикетів із сумішей: комбікорм, солонина, трав'яна різка, меляса, карбамід (номінальна продуктивність 2,5 т/год). Універсальність устаткування забезпечується змінними робочими органами.



Технологічний процес брикетування соломи здійснюється у такій послідовності.

Солома розсипом, тюками, рулонами транспортними засобами завантажується у живильник-завантажувач, що направляє її у подрібнювач грубих кормів. Подрібнена солома пневмотранспортером подається в бункер-дозатор соломи, звідки у змішувач-реактор устаткування ЛОС-1.

У змішувач-реактор одночасно із солом'яною різкою вводиться за допомогою інжекторного пристрою аерозоль – механічна паролужна суміш. Пара подається із парового котла. Розчин їдкового натру подається насосом устаткування ООЩ-2. При відсутності пари розчин їдкового натру подається у змішувач-реактор через пустотілий вал реактора або змінну механічну форсунку замість інжекторного пристрою. Суміш солом'яної різки з розчином їдкового натру транспортерами подається в змішувач устаткування ОПК-2.

Комбікорм завантажувачем сухих кормів ССК-10 або ЗСК-10 вивантажується у бункери-дозатори. Дозований комбікорм шнеком надходить в устаткування ОПК-2. У змішувачі відбувається змішування солом'яної різки, обробленої розчином їдкового натру з концентрованими кормами. Туди ж з устаткування ОМК-2 насосами-дозаторами подаються розчини карбаміду і меляси.

Отримані на пресі брикети і гранули після охолодження на охолоджувачі надходять в устаткування тимчасового накопичення ОНК-1,5-16.

Комплект КУ-2 виконаний у варіанті без сушильного пристрою соломи. У районах підвищеної вологості дане устаткування монтують зблоковано з пунктом сушіння зелених кормів на агрегаті АВМ-1,5. При необхідності роблять підсушування соломи, а також подрібнюють її для гранулювання на дробарках агрегату. Обладнання КУ-2 обслуговують 3 оператори.

### **10.3 Обладнання для приготування амідоконцентратних добавок**

Існують два способи готування АКД: суха і волога екструзія з гідротермічною обробкою вихідної суміші у спеціальних пресах-екструдерах.

При сухій екструзії ретельно перемішана суміш подрібненого зерна (70...80%), карбаміду (15...20%) і бентоніту натрію (5%) завантажується в екструдер і в міру просування у декількох місцях піддається стискуванню. У цих місцях продукт дроселюється за допомогою кілець, що звужуються, і парових затворів. Причому частина продукту продавлюється шнеком через зазор У, а частина, повертаючи по горизонтальних пазах назад, стискається і знову подається шнеком вперед. Розміри зазорів Б та С визначають величину тиску (2...4 мПа).

Під дією такого тиску, напруження зрушення і сил тертя суміш розігрівається до 150...180 °С. У результаті крохмаль, що міститься в подрібненому зерні, желатинізується і частково руйнується, утворюючи легкопереварювані вуглеводи. Карбамід плавиться і, рівномірно розподіляючись в кормосуміші, обволікається крохмалем. Бентоніт натрію в процесі екструзії, видаляючи надлишки вологи, сприяє желатинизації крохмалю і полегшує проходження суміші через екструдер. Багаторазове перемішування, що супроводжується перетиранням частинок матеріалу, забезпечує його

гомогенізацію у в'язкопластичному стані і зміцнення міжмолекулярних зв'язків. Заключним етапом екструзії є продавлювання матеріалу через регульований зазор А, де здійснюється формування гранул. Останні після охолодження набувають властивостей карбамідного концентрату, 1 кг якого містить 500...900 мг сирого протеїну, а поживна цінність складає 0,7...0,9 к. од.

За методом сухої екструзії працює прес-екструдер КМЗ-2 (рисунок 10.9). Нагнітаючий шнек його становить собою набір окремих секцій, між якими встановлено компресійні кільця. Продуктивність преса 500 кг/год.

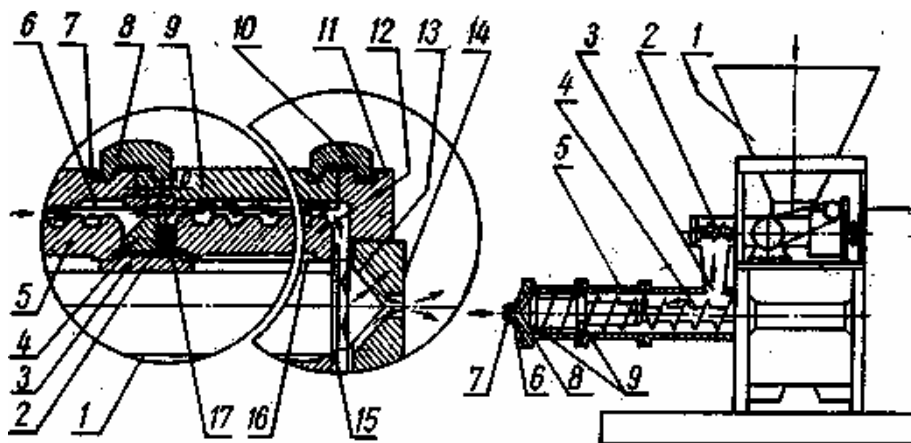


Рисунок 10.9 - Робочий процес і будова екструдера:

Схема обробки продукту в екструдері (ліворуч): 1 – вал; 2 – прокладка; 3 – шпонка; 4 – паровий затвор; 5, 12 – напірні шнеки; 6 – горизонтальний паз; 7, 9 – компресійні камери; 8, 10 – сполучні скоби; 11 – вставна голівка; 13 – конусний наконечник; 14 – регулюючий конусний наконечник; 15 – запобіжна шайба; 16 – шліци; 17 – кільце, що зношується

Екструдер КМЗ-2 (праворуч): 1 – завантажувальна лійка; 2 – живильний шнек; 3 – прийомна камера; 4 – нагнітаючий шнек; 5 – збірний циліндр; 6 – матриця; 7 – гвинт; 8 – термопара; 9 – компресійне кільце.

При вологій екструзії у вихідну суміш не включається бентоніт натрію. Обробку ж суміші ведуть парою і водою під високим тиском безпосередньо у самому екструдері або в спеціальних камерах. Така гідротермічна обробка прискорює процес готування концентрату, зменшує зношення робочих органів і майже на 50% знижує енергоємність процесу.

Готування АКД методом екструзії має ряд переваг у порівнянні з існуючими. Наявність крохмалевої оболонки сприяє повільному розпаду карбаміду у рубці жуйних під дією ферменту уреазы і, отже, більш повному використанню азоту за рахунок мікробіологічного білка. Дослідження показали, що при рівних умовах за 4 год. ферментації з карбамідного концентрату синтезується 65,2 міліграм-відсотка білкового азоту, тоді як при згодовуванні чистої сечовини тільки 46,2. За ступенем желатинізації крохмалю екструзія дає найкращі результати, що підтверджують дані таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 - Порівняльна оцінка різних способів підготовки кормів за ступенем желатинізації крохмалю (дані В. І. Сироватка та ін.)

Спосіб обробки	Ступінь желатинізації крохмалю від загального вмісту, %
Гранулювання	10... 20
Плющення:	
з попереднім пропарюванням при атмосферному тиску і температурі 100°C протягом 15...30 хв	30... 50
без попередньої обробки	До 20
екструзія сухого зерна (вологість 11...13%)	40... 60
Екструзія попередньо пропареного і зволоженого зерна	60... 100

Таким чином, застосування АКД дозволяє більш ефективно використовувати азотисті з'єднання і повністю механізувати процес їх введення до раціону жуйних тварин.

Приготування АКД організується на міжгосподарських комбикормових підприємствах або в спеціальних кормоцехах. Науково-дослідними інститутами проектування підприємств сільського господарства розроблено проекти цехів для виробництва карбамідного концентрату продуктивністю 3,6 і 9 м/год з використанням відповідно 6, 12 і 18 екструдерів КМЗ-2. Річний обсяг виробництва карбамідного концентрату відповідними цехами складає 10,2; 20,4 і 30,2 тис. т.

#### 10.4 Розрахунок основних параметрів гранулятора

Вихідними даними для розрахунку є зоотехнічні вимоги до технології пресування (гранулювання або брикетування) розміри, щільність та показники якості одержуваних монолітів (гранул або брикетів).

Розрахунок преса проводять на задану продуктивність ( $q$ , кг/с;  $Q$ , т/год) і виконують у такій послідовності:

Розробляють конструктивно-технічну схему преса (рисунок 10.10К), вибирають його тип, число вальців, форму і розміри поперечного перерізу каналів пресування, спосіб регулювання щільності монолітів.

Визначають довжину  $L$  каналу пресування за формулою:

$$L = \frac{P_{\max} \cdot S_k}{f_{\text{ст}} \cdot \varphi \cdot P_{\text{ун}} \cdot \Pi_k}, \quad (10.9)$$

де  $P_{\max}$  – максимальний осьовий тиск пресування, МПа;

$S_k$  – площа поперечного перерізу каналу, м<sup>2</sup>;

$f_{\text{ст}}$  – коефіцієнт тертя спокою;  $f_{\text{ст}} = 0,1$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт бокового розпору;  $\varphi = 0,4...0,5$ ;

$P_{\text{ун}}$  – нормальний тиск на упорі, МПа;

$\Pi_k$  – периметр поперечного перерізу каналу, м.

$$P_{\max} = C \cdot \left[ e^{a(\rho_1 - \rho_0)} - 1 \right], \text{ МПа}, \quad (10.10)$$

де  $C$  і  $a$  – постійні для даного матеріалу коефіцієнти, які визначають опір матеріала стискання і залежать від його структурно-механічних властивостей – міцності величини частинок вологості (таблиця 10.2).

$e$  – основа натуральних логарифмів;

$\rho_1$  – щільність пресування,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_0$  – початкова щільність матеріалу,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблиця 10.2 - Значення параметрів  $a$  і  $C$  для сіносомистих матеріалів

Матеріал	Вологість, %	$a, (\text{м}^3/\text{кг}) \cdot 10^{-3}$	$C, \text{ МПа}$
Люцерна	16	4,61	0,33
Конюшина	16	4,95	0,34
Ковильно-типчакове сіно	16	5,35	0,44
Тимофіївка	9,4	5,10	0,50
Трав'яне борошно	14,7	5,20	0,36
Солома	10,3	5,10	0,59

Площа поперечного перерізу круглого каналу

$$S_k = \frac{\pi d_k^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (10.11)$$

де  $d_k$  – діаметр каналу, м;

Нормальний тиск на упорі

$$P_{\text{ун}} = (0,4 \dots 0,45) \cdot P_{\max}, \text{ МПа}, \quad (10.12)$$

Периметр поперечного перерізу круглого каналу

$$\Pi_k = \pi \cdot d_k. \quad (10.13)$$

Площа робочої поверхні матриці, обумовлена заданою продуктивністю  $q$ , визначається за формулою:

$$S_m = \frac{q \cdot t_{\text{обр}}}{K_{\text{л}} \cdot L \cdot C \cdot \rho}, \text{ м}^2. \quad (10.14)$$

де  $t_{\text{обр}}$  – час перебування моноліта в каналі пересування (за дослідними даними при гранулюванні трав'яного борошна  $t_{\text{обр}} = 16 - 18$  с, при брикетуванні кормових сумішей  $t_{\text{обр}} = 23 - 25$  с);

$K_{\text{л}}$  – коефіцієнт перфорації матриці (для грануляторів  $K_{\text{л}} = 0,4 - 0,5$ , для брикетувальників  $K_{\text{л}} = 0,7 - 0,75$ );

$C$  – коефіцієнт, що враховує розширення монолітів після виходу із каналів ( $C = 1,1$ ).

Визначають число каналів пресування

$$Z_k = \frac{S_m}{S_k}. \quad (10.15)$$

Визначають висоту шару  $H$  у зоні захвату вальцем пресуючого матеріалу.

Для того, щоб валець міг захопити шар сипучого матеріалу і потім його

стиснути, необхідно, щоб він був відповідним чином розміщений по відношенню до матриці, тобто врахований кут пресування  $\alpha$  (рисунок 10.10).

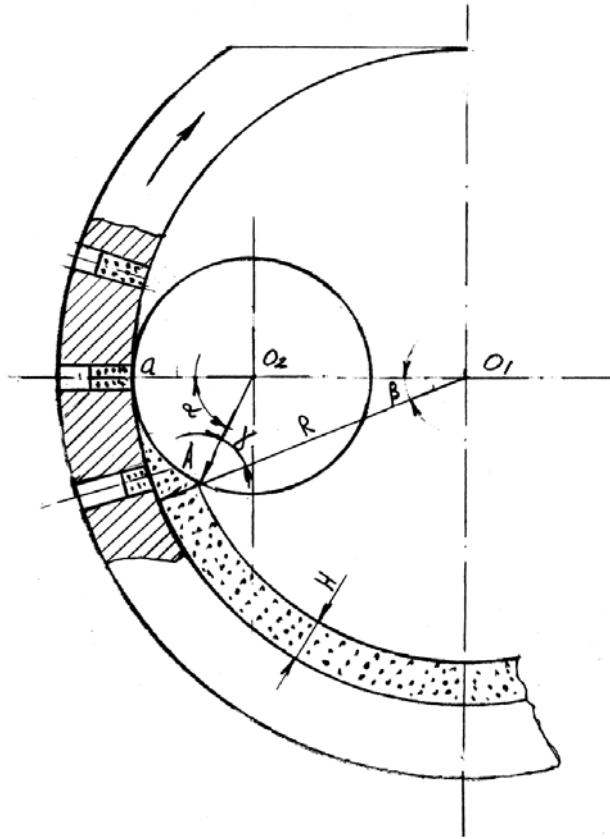


Рисунок 10.10 – Конструктивно-технологічна схема преса

Тут також повинна виконуватись умова

$$\gamma \equiv \varphi, \quad (10.16)$$

де  $\gamma$  – кут між радіусами вальця ( $OA_2$ ) і матриці ( $OA_1$ ), проведений через точку захоплення А;

$\varphi$  – кут тертя матеріалу по поверхні вальця; за спостереженнями цей кут складає  $25-35^\circ$  (коефіцієнт тертя  $f_d = 0,5 - 0,7$ ).

Кут пресування при цьому визначається із виразу

$$\alpha \leq \frac{\varphi}{1 - \frac{r}{R}} \quad (10.17)$$

Необхідність компактного розміщення вальців призводить до того, що співвідношення між радіусами вальця і матриці ( $\frac{r}{R}$ ) змінюється у вузьких межах

у конструкціях пресів при двох вальцях  $\frac{r}{R} = 0,42 - 0,45$ , при трьох –

$\frac{r}{R} = 0,4 - 0,42$ .

При вибраному співвідношенні  $\frac{r}{R}$  і з урахуванням кута пресування  $\alpha$  висота шару визначається за формулою:

$$\frac{H}{r} = \left(\frac{R}{r}\right) \left[ 1 - \sqrt{1 - 2 \frac{r}{R} \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right) \cdot (1 - \cos \alpha)} \right] \quad (10.18)$$

Визначають продуктивність преса  $q$  (кг/с) за формулою:

$$q = \frac{S_k \cdot Z_k \cdot L \cdot \rho \cdot \beta}{t_{\text{обр}}}, \quad (10.19)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт заповнених каналів матеріалом, що враховує використання живого перерізу матриці ( $\beta = 0,05$ ).

Визначають силу тертя  $F_{\text{тр}}$ , яка виникає при русі моноліту по каналу

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ст}} \cdot \varphi \cdot P_{\text{ун}} \cdot \Pi_k \cdot L, \quad (10.20)$$

де  $f_{\text{ст}}$  – коефіцієнт тертя спокою;

$\varphi$  – коефіцієнт бокового тиску (розширення),  $\varphi = 0,4 - 0,45$ ;

$P_{\text{ун}}$  – нормальний тиск на упорі, МПа;  $P_{\text{ун}} = (0,1 - 0,4) P_{\text{max}}$ .

Визначають середню швидкість переміщення моноліту по каналу пресування:

$$v_{\text{ср}} = \frac{L}{t_{\text{обр}}}. \quad (10.21)$$

Визначають частоту обертання матриці

$$n_{\text{min}} = \sqrt{g(R_H \cdot \sin \varphi)} \cdot 2\pi \quad (10.22)$$

$$n_{\text{max}} = \sqrt{G_p \cdot (b \cdot R_H \cdot d \cdot \rho)} \cdot 2\pi, \quad (10.23)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$G_p$  – руйнівне напруження відриву в моноліті, Па;

$R_H$  – зовнішній радіус матриці-кільця, м;

$b$  – відношення довжини моноліту до його поперечного розміру;

$d$  – поперечний розмір моноліту (діаметр, сторона квадрата), м;

$\rho$  – щільність моноліту,  $\text{кг/м}^3$ .

Визначають потужність  $N_{\text{пр}}$  (кВт) для пресування за формулою:

$$N_{\text{пр}} = 10^{-3} \cdot F_{\text{тр}} \cdot v_{\text{ср}} \cdot Z, \quad (10.24)$$

де  $Z$  – число каналів, в яких проводиться пресування одночасно

$$Z = \frac{Z_k \cdot Z_b \cdot \alpha}{360}; \quad (10.25)$$

де  $Z_b$  – число пресуючих вальців;

$\alpha$  – кут пресування.

Визначають потужність  $N$  (кВт) на привід преса у роботу без врахування приводу обслуговуючих механізмів (вентиляторів)

$$N = \frac{N_{\text{пр}} + N_{\text{х.х}}}{\eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{дв}}} \quad (10.26)$$

де  $N_{xx}$  – потужність холостого ходу преса, кВт;  
 $\eta_{тр}$ ,  $\eta_{дв}$  – ККД трансмісії і електродвигуна при нормальному навантаженні.

## Література

1. Бананов И.Н., Лукьяненко И.И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах.–М.: Россельхозиздат, 1977.
2. Белянчиков Н.Н., Смирнов А.И. Механизация животноводства.–М.: Колос, 1983.–360 с.
3. Биргер И.А., Мавлюков Р.Р. Сопротивление материалов: учебное пособие.–М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит, 1973.–560 с.
4. Болотнов П.М., Рыжов С.В. Механизация работ в овцеводстве.–М.: Высшая школа, 1980.
5. Брагинец Н.В. Курсовое и дипломное проектирование по механизации животноводства.–М.: Колос, 1978.–192 с., ил.
6. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику.–К.: Сільгоспосвіта, 1996.–251 с.
7. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике.–М., 1977.,872 с., ил.
8. Гернет М.М., Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции.–М.: Машиностроение, 1973.–247 с.
9. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3 томах, том 3.–М.: Колос, 1965.–384 с.
10. Гриб В.К. Механизация животноводства.–Мн.: Урожай, 1987.–440 с., ил. – (Учебное пособие для с.-х. ВУЗов).
11. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: практическое пособие.–К.: Изд. УСХА, 1992.–512 с.
12. Земсков В.И., Ковальчук В.Д. Механизация приготовления кормов на фермах.– Барнаул.: Алтайское книжное издательство, 1976.
13. Кордун Г.Г. Учням про видатних фізиків.–К.: Радянська школа, 1979.–134 с.
14. Корнеев Г.В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения.– М.-К.: Мажгиз, 1961.–331 с.
15. Королев В.Ф. Доильные машины.–М.: Машиностроение, 1969.–279 с., ил.
16. Короткевич В.А. Механизация свиноводческих ферм и комплексов.–Мн.: Урожай, 1979.–127 с., ил.
17. Краснокутский Ю.В. Механизация первичной обработки молока.–М.: Колос, 1979.



18. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности, том 1.–М.: Пищепромиздат, 1955.–472 с.
19. Куров Ю.А., Серий Г.П. Механізація приготування кормів для птиці.–К.: Урожай, 1970.–177 с.
20. Курсове та дипломне проектування по механізації тваринницьких ферм / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; За ред. О.В. Нанки. – Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2003. – 356 с.
21. Лобановский Г.А. Кормоцехи на фермах.–М.: Колос, 1971.
22. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.–М.: Колос, 1978.
23. Механізація виробництва продукції тваринництва за редакцією Ревенка І.І.–К.: Урожай, 1994. – 264 с.
24. Мжельский Н.И., Смирнов А.И. Справочник по механизации животноводческих ферм и комплексов. – М.: Колос, 1984.–336 с., ил.
25. Науменко О.А., Поліський А.Я., Сідашенко О.І. Технічний сервіс (термінологія) .–Харків.: ХДТУСГ, 1998.–145 с.
26. Новиков Г.И. Комплексная механизация в промышленном свиноводстве.–М.: Колос, 1973.
27. Омельченко А.А., Куцын Л.М. Кормораздающие устройства.–М.: Машиностроение, 1971.–207 с.
28. Писаренко Г.С. Соппротивление материалов.– 5-е изд. перераб. и доп.–К.: Высшая школа. Головное изд-во, 1986.–775 с.
29. Пономарёв К.К. Составление и решение дифференциальных уравнений инженерно-технических задач.–М.: Гос. уч.–пед. изд-во мин. просвещ. РСФСР, 1962.–184 с.
30. Потапов Г.П. Транспортёры в животноводстве.–М.: Агропромиздат, 1987.–95 с., ил.
31. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; За ред. О.П. Скорик, О.І. Фісячекнко. – Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2004. – 275 с.
32. Савельев И.В. Курс общей физики.–М.: изд-во физ.–мат. лит, 1962.–403 с.

- 33.Смирнов И.И. Механизация животноводческих ферм.–М.: Гос. н.-т. изд-во маш. лит, 1959.–359 с.
- 34.Теорія та розрахунок машин для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. І.Г. Бойко. – Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. – 216 с.
- 35.Тришин А.К. Энергосберегающая технология производства молока.–Харків.: Прапор, 1997.–191 с.
- 36.Троянов М.М. Механізація технологічних процесів у тваринництві. – Харків.: Прапор, 1993.–140 с.
- 37.Удавєня В.А. и др. Механизация и использование органических удобрений.–Мн.: Урожай, 1982.–220 с., ил.
- 38.Шабельник Б.П. Конвейеры-очистители корнеуборочных машин.–К.: Міносвіта, 1998.–243 с.
- 39.Шабельник Б.П. Расчет параметров оборудования в животноводстве.–К.: УСХА, 1992.–80 с.

## Зміст

Передмова .....	3
Розділ 1 Виробничо-технологічна характеристика тваринницьких підприємств.....	6
1. Напрямки і перспективи розвитку тваринництва України .....	6
1.1 Аналіз сучасного стану тваринництва України .....	6
1.2 Напрямки і перспективи розвитку тваринництва України .....	7
1.3 Напрями розвитку технічного оснащення виробничих процесів у тваринництві .....	9
1.3.1 Напрями механізації та автоматизації виробництва молока і яловичини .....	8
1.3.2 Напрями машинно-технологічної інтенсифікації свинарства .....	10
1.3.3 Технічне оснащення вівчарства .....	10
1.3.4 Напрями оновлення технічної бази птахівництва .....	10
1.3.5 Розвиток системи мікроклімату тваринництва .....	11
1.3.6 Вирішення проблеми видалення та утилізації гною .....	11
1.4. Розвиток технічного сервісу машин та обладнання в тваринництві .....	12
2 Типи тваринницьких підприємств та їх обладнання .....	14
2.1 Класифікація та основні типорозміри тваринницьких підприємств .....	14
2.2 Системи та способи утримання тварин і птиці .....	17
2.3 Обладнання для утримання великої рогатої худоби .....	21
2.4. Обладнання для утримання свиней .....	27
2.5. Обладнання для утримання птиці .....	32
3 Мікроклімат тваринницьких приміщень та обладнання для його підтримання .....	39
3.1 Загальні відомості .....	39
3.2 Джерела забруднення тваринницьких приміщень .....	41
3.3 Розрахунок повітрообміну тваринницьких приміщень .....	42
3.4 Типи вентиляційних пристроїв .....	43
3.5 Розрахунок природної вентиляції .....	44
3.6 Розрахунок штучної вентиляції .....	47
3.7 Нагрівання приточного повітря .....	50
3.8. Освітлення тваринницьких приміщень .....	52
3.9. Обладнання для забезпечення мікроклімату .....	53
3.9.1. Вентиляційні системи .....	53
3.9.2 Каналізаційні системи .....	55
3.9.3 Теплогенератори .....	56
3.9.4 Устаткування для автоматичної підтримки мікроклімату .....	57
Розділ 2 Машини та обладнання для приготування кормів .....	61
4 Основи технології кормоприготування .....	61
4.1 Вимоги до повно раціонної годівлі тварин .....	61
4.2 Види кормів та їхня класифікація .....	62
4.3 Способи підготовки кормів до згодовування .....	65
4.4 Поняття про технологію та основні схеми кормоприготування .....	67
5 Подрібнення кормів .....	69

5.1 Основи теорії подрібнення кормів .....	69
5.1.1 Подрібнення як процес утворення нових поверхонь .....	69
5.1.2 Витрати енергії на процес подрібнення .....	72
5.1.3 Базові робочі формули процесу подрібнення .....	78
5.2 Машини для подрібнення концентрованих кормів .....	83
5.2.1 Зоотехнічні вимоги до технології приготування концентрованих кормів .....	83
5.2.2. Молоткові подрібнювачі кормів .....	84
5.3 Теорія молоткових дробарок .....	97
5.3.1 Робочий процес молоткової дробарки .....	97
5.3.2 Робота деформації при ударі .....	98
5.3.3 Оцінка механічних і конструктивних факторів подрібнення .....	101
5.3.4 Розрахунок молоткових дробарок .....	103
5.4 Вальцьові млини .....	108
5.4.1 Основи теорії вальцьових млинів .....	108
5.4.2 Будова і робота вальцьових млинів .....	111
5.4.3 Розрахунок конструктивних параметрів і техніко-економічних показників вальцьових млинів .....	114
6 Машини та обладнання для подрібнення стеблових кормів .....	116
6.1 Теоретичні основи подрібнення стеблових кормів .....	116
6.2 Машини для подрібнення стеблових кормів .....	121
6.2.1 Типи робочих органів соломосилосорізок .....	121
6.2.2 Подрібнювачі стеблових кормів .....	124
6.3 Розрахунок основних робочих органів соломосилосорізок .....	128
6.3.1 Загальні вимоги .....	128
6.3.2 Визначення основних параметрів дискових соломосилосорізок .....	128
6.3.3 Визначення основних параметрів барабанних соломосилосорізок .....	130
6.3.4 Розрахунки штифтового подрібнювача .....	131
6.3.5 Розрахунок потужності на привід подрібнювача .....	133
6.3.6 Визначення геометричних і кінематичних параметрів живильника .....	134
6.3.7 Визначення параметрів вальців живильника .....	135
6.3.8 Визначення потужності, необхідної для приводу живильника .....	135
6.3.9 Розрахунки пневматичного вивантажувального пристрою .....	136
7 Машини та обладнання для обробки коренебульбоплодів .....	138
7.1 Основи теорії різання коренебульбоплодів .....	138
7.2 Машини для очищення, мийки і подрібнення коренебульбоплодів .....	140
7.2.1 Основні вимоги до машин .....	140
7.2.2 Схеми машин для сухого очищення, мийки і подрібнення коренебульбоплодів .....	141
7.3 Розрахунок основних параметрів машин для обробки коренебульбоплодів .....	149
7.3.1. Визначення кутової швидкості відцентрового апарата для миття та різання коренів .....	149
7.3.2 Розрахунок гвинтового апарата для миття коренів .....	151
7.3.3. Розрахунки шнекової мийки .....	151
7.3.4 Розрахунки дискового подрібнювача коренеплодів .....	153

8	Машини і обладнання для приготування кормових сумішей.....	156
8.1	Види кормових сумішей та вимоги до їх приготування .....	156
8.2	Обладнання для дозування кормів .....	157
8.2.1	Загальні відомості.....	157
8.2.2	Класифікація дозаторів.....	158
8.3	Об'ємні дозатори безперервної дії .....	160
8.3.1	Барабанні та секторні дозатори .....	160
8.3.2	Стрічкові дозатори .....	161
8.3.3	Шнекові дозатори.....	163
8.3.4	Дискові та тарілкові дозатори.....	165
8.3.5	Відцентрові дозатори .....	167
8.3.6	Вібраційні лоткові дозатори.....	169
8.4	Обладнання для змішування кормів.....	170
8.4.1	Загальні відомості.....	170
8.4.2	Основи теорії змішування .....	171
8.4.3	Класифікація змішувачів .....	173
8.4.4	Шнекові змішувачі безперервної дії .....	176
8.4.5	Багатовальні шнекові змішувачі безперервної дії .....	177
8.4.6	Визначення основних параметрів двовального лопатевого змішувача періодичної дії .....	177
8.4.7	Визначення основних параметрів одновального лопатевого змішувача періодичної дії .....	180
8.4.8	Вертикальні шнекові змішувачі періодичної дії.....	181
8.5	Напрямки удосконалення конструкцій змішувачів сипучих матеріалів .....	182
9	Машини та обладнання для теплової та хімічної обробки кормів.....	185
9.1	Основні способи обробки та їх призначення .....	185
9.2	Аналіз роботи теплообмінних апаратів .....	185
9.2.1	Сушіння кормів.....	185
9.2.2	Вологотеплова обробка зерна .....	190
9.2.3	Запарювання бульбоплодів .....	192
9.2.4	Термохімічна обробка грубих кормів .....	194
9.3	Технологічний розрахунок запарників .....	195
10	Машини і обладнання для гранулювання і брикетування кормів.....	201
10.1	Процес пресування кормів і його суть .....	201
10.1.1	Поняття про гранулювання кормів.....	203
10.1.2	Основи технології брикетування кормів .....	204
10.2	Обладнання для гранулювання та брикетування кормів .....	204
10.2.1	Класифікація та будова пресів для гранулювання кормів .....	204
10.2.2	Преси для брикетування кормів. ....	209
10.2.3	Комплекти устаткування для пресування кормів .....	214
10.3	Обладнання для приготування амідоконцентратних добавок.....	217
10.4	Розрахунок основних параметрів гранулятора .....	219
	Література .....	224

## ***Навчальне видання***

Науменко Олександр Артемович, к.т.н., професор  
Бойко Іван Григорович, к.т.н., професор  
Нанка Олександр Володимирович, к.т.н., доцент  
Полупанов Віктор Миколайович к.т.н., доцент  
Скорик Олексій Петрович, доцент  
Троянов Микола Микитович, к.т.н., професор  
Трішин Олексій Константинович д.с-г н., професор  
Фісяченко Олександр Іванович, ст.. викладач  
Ужик Віктор Федорович, д.т.н., професор  
Щербаков Євгеній Михайлович, к е.н., професор

(Харківський національний технічний університет  
сільського господарства)

# **Машини та обладнання для тваринництва**

Підручник  
За редакцією І.Г. Бойко  
**Українською мовою**

Відповідальний за випуск О.В. Нанка  
Комп'ютерний набір та верстка Грошев Д.С.

Підписано до друку 18. 12.2005 р. Папір тип №2  
Формат 60x84 1/16. Умов.- друк. аркушів Тираж 500 примірників.

---

ХНТУСГ, 61002, м. Харків-2, вул.. Артема, 44  
Видавництво ЧП Червяк  
61120, м.Харків, вул..Гв. Широнінців, 18,кВ. 179