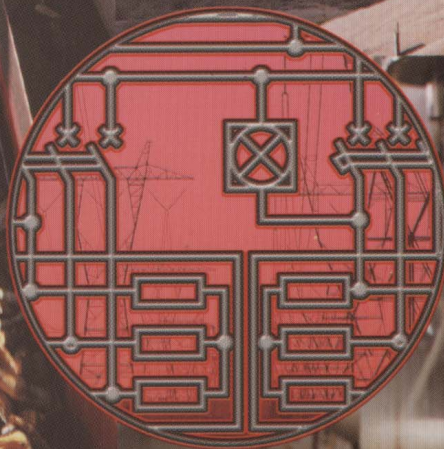


Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко,
О. С. Марченко, Д. Г. Войтюк

Електропривід

СІЛЬСЬКО—
ГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН, АГРЕГАТІВ
ТА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ



Вища освіта

Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко,
О. С. Марченко, Д. Г. Войтюк

Електропривід СІЛЬСЬКО— ГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН, АГРЕГАТІВ ТА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ

*За редакцією кандидата технічних наук
Жулая Євгена Лаврентійовича*

Допущено
Міністерством аграрної політики України
як підручник для підготовки фахівців
у вищих аграрних закладах освіти
III — IV рівнів акредитації із спеціальності
“Енергетика сільськогосподарського
виробництва”

Київ
«Вища освіта»
2001

УДК 621.313:63(075.8)
ББК 40.76я73
Е45

*Гриф надано Міністерством
аграрної політики України
(лист № 18-2-1/190
від 22.08.2001 р.)*

Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, Д. Г. Войтюк; За ред. Є. Л. Жулая. — К.: Вища освіта, 2001. — 288 с.: іл.
ISBN 966-95995-2-0

Розглянуто привідні характеристики та методику вибору електропривода сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній. Наведено схеми автоматичного керування електроприводами в тваринництві, птахівництві, рослинництві, підсобних підприємствах тощо, методику оцінки та випробування приводів.

Для підготовки фахівців у вищих аграрних закладах освіти III – IV рівнів акредитації із спеціальності “Енергетика сільськогосподарського виробництва”.

ББК 40.76я73

ISBN 966-95995-2-0

© Жулай Є. Л., Зайцев Б. В.,
Лавріненко Ю. М., Марченко О. С.,
Войтюк Д. Г., 2001

ПЕРЕДМОВА

Курс “Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній” є одним із завершальних у підготовці інженерів-електриків сільського господарства всіх спеціалізацій.

В сучасний період у сільськогосподарському виробництві експлуатується більш ніж 300 типів робочих машин та агрегатів з електроприводом і майже кожна з них має свої відмінності в привідних характеристиках, режимах роботи, схемах керування.

Викладання матеріалу за галузевим принципом (рослинництво, тваринництво, підсобні підприємства та ін.) неодмінно призведе до повторень, оскільки окремі типи машин, наприклад вентилятори, насоси, транспортні засоби, можуть застосовуватись у декількох галузях.

Тому автори виклали курс так, що окремі розділи висвітлюють ряд машин і механізмів із подібними привідними характеристиками, характером навантаження, способом керування. На основі цього стало можливим у невеликому обсязі підручника висвітлити загальні питання їх електропривода та автоматизації і звести розгляд численних схем керування до обмеженої кількості прикладів, які ілюструють як основні загальні питання, так і особливості конкретних машин.

У підручнику наведено відомості з новітніх електроустановок, що впроваджені у виробництво або рекомендовані до впровадження в найближчі роки.

Ці відомості можуть бути корисними також для спеціалістів з експлуатації електроприводів сільськогосподарського призначення.

Підручник підготували: передмову, розділи 2, 3.5, 3.6, 7, 12 — доцент Є. Л. Жулай; розділи 6, 8, 10, 11 — доцент Б. В. Зайцев; розділи 4, 5, 9 — доцент Ю. М. Лаврінченко; розділи 1, 3.1 – 3.4 — доцент О. С. Марченко; привідні характеристики машин в розділах 5, 8, 9, 11 — професор Д. Г. Войтюк.

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

1.1. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

При проектуванні електроприводів сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній враховують такі особливості їх роботи: різноманітність привідних характеристик робочих машин, підвищену вологість і запиленість навколишнього середовища, наявність хімічно активних речовин, живлення електроприводів, у ряді випадків, від малопотужних резервних мереж, розосередженість приводів відносно джерела живлення на значних відстанях, сезонність роботи деяких приводів.

Різнманітність привідних характеристик робочих машин враховують при виборі електричних модифікацій двигунів, аналізах перехідних процесів системи двигун — робоча машина та ін.

Існуюча номенклатура асинхронних двигунів дає можливість вибрати потрібний двигун по захищеності від впливу навколишнього середовища.

Так, для вологих приміщень використовують двигуни вологоморозостійкого виконання. Ці двигуни розраховані для роботи при температурі навколишнього середовища до -40°C і відносній вологості до 100 % при температурі $+25^{\circ}\text{C}$. Діапазон висот осі обертання 50 – 355 мм, ступінь захисту *IP54*, кліматичне виконання ХЛ, категорія розміщення 2. Ці двигуни відрізняються від двигунів основного виконання вологоморозостійкою ізоляцією і захисним покриттям всіх вузлів. Технічні дані цих двигунів відповідають даним двигунів основного виконання зі ступенем захисту *IP44*.

При розміщенні двигунів безпосередньо в тваринницьких чи птахівницьких приміщеннях використовують двигуни сільськогосподарського виконання, які випускаються з висотою осі обертання 50 – 180 мм і ступенем захисту *IP54*. Ці двигуни відрізняються від двигунів основного виконання просоченням ізоляції обмотки статора, захисним покриттям та ущільненням по лінії вала, щитів, ввідного пристрою. Технічні дані двигунів сільськогосподарського виконання такі самі як і двигунів основного виконання.

У приміщеннях із підвищеною концентрацією пилу використовують ущільнені пилонепроникні двигуни, що мають вісь обертання 56 – 250 мм, ступінь захисту IP54, кліматичне виконання У, категорію розміщення З. Двигуни мають ущільнення по лінії вала і ввідного пристрою. Технічні дані такі самі як і двигунів основного виконання.

Сезонність у роботі електроприводів призводить до того, що ізоляція двигуна не підсушується робочим струмом і її опір знижується. Цю обставину необхідно враховувати при виборі двигунів, стійких проти впливу вологи та експлуатації електроустановок.

1.2. ПРИВІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧИХ МАШИН

Вибір раціонального електропривода до будь-якої робочої машини провадять на підставі її привідних характеристик, до яких відносять: технологічні, кінематичні, інерційні, механічні, навантажувальні, енергетичні.

Технологічна характеристика зображується функціональною схемою процесу та вимогами до електропривода щодо якості продукції. Наводиться залежність продуктивності машини та якості перероблюваної продукції від кутової швидкості (лінійної швидкості) робочого органа. Аналіз технологічної характеристики дає змогу сформулювати вимоги до схеми керування електроприводом (необхідні блокування, регулювання кутової швидкості, захист від можливих аварійних режимів та ін.) і вибрати електричний двигун відповідно до умов навколишнього середовища.

Наприклад, відцентровий консольний насос не потребує регульованого електропривода, якщо водозабір здійснюється з відкритого водоймища. Потужні заглибні насоси при пуску за рахунок великого початкового динамічного моменту можуть збурювати воду на вході в забірний фільтр. При цьому вода з мулом, проходячи через двигун, потрапляє в підшипники, що призводить до скорочення строку служби двигуна. Використовуючи регульований електропривід, можна плавно запустити насосну установку і запобігти можливого збурення води у водозаборі. Отже, технологічні характеристики повинні відображати всі особливості технологічного процесу.

Кінематична характеристика подається у вигляді кінематичної схеми. На схемі повинна бути інформація про швидкість (кутову, лінійну) всіх елементів машини, а також розподіл потужності двигуна між окремими робочими органами. Як відомо, кінематична схема в більшості випадків яв-

ляє собою багатомасову, пружну механічну схему з зазорами. Розв'язання рівняння руху за такою схемою досить складне. У сільськогосподарських електроприводах, як правило, при інженерних розрахунках використовують одномасові жорсткі механічні схеми без зазорів. Кінематична схема повинна мати всі параметри для визначення зведеного до вала електричного двигуна статичного моменту та моменту інерції робочої машини, що дає можливість одержати одномасову механічну схему. Крім цього, кінематична характеристика дає можливість вибрати передавальний пристрій та конструктивне виконання електричного двигуна за способом монтажу.

Інерційна характеристика робочої машини показує, як змінюється момент інерції залежно від часу або кута повороту рухомих частин. При обертальному русі і незмінному навантаженні робочої машини момент інерції залишається незмінним. Машини з кривошипно-шатунним механізмом мають момент інерції, залежний від кута повороту шатуну.

При поступальному русі (транспортери) зведений момент інерції робочої машини залежить від маси, що транспортується. Отже, ця величина може залежати при певному технологічному процесі від часу. Момент інерції виявляє себе лише в перехідних режимах: пуск машини, гальмування, коливання кутової швидкості при зміні навантаження. Отже, інерційна характеристика дає можливість визначити час пуску і гальмування системи двигун — робоча машина, підрахувати втрати електричної енергії в перехідних режимах. Момент інерції також впливає на рівномірність ходу машини при змінному навантаженні. Інерційну характеристику враховують при виборі електричної модифікації двигунів: при великому моменті інерції з метою зменшення часу пуску системи приймають двигун із підвищеним пусковим моментом.

Слід відзначити, що в технічних характеристиках робочих машин не наводяться значення моменту інерції. Його визначають, як правило, експериментально.

При проектуванні електроприводів користуються коефіцієнтом інерції F_j системи двигун — робоча машина, який визначають за залежністю

$$F_j = \frac{J_p + J_{м.зв}}{J_p}, \quad (1.1)$$

де J_p — момент інерції ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $J_{м.зв}$ — момент інерції робочої машини, зведений до вала двигуна.

Для сільськогосподарських машин коефіцієнт інерції змінюється в широких межах (табл. 1.1).

Для кожного двигуна існує максимально допустимий зведений момент інерції робочої машини, який визначають за формулою

$$J_{\max} = K K_m P_{\text{ном}}^{\nu} p^{\gamma}, \quad (1.2)$$

де K — коефіцієнт, що дорівнює для закритих двигунів 0,045; K_m — коефіцієнт, який визначається залежністю статичного моменту опору від кутової швидкості. При незмінному статичному моменті $K_m = 0,4$ і $K_m = 0,2$ відповідно для двигунів із висотою осі обертання 50 – 132 мм та 160 – 250 мм. При вентиляторній характеристиці $K_m = 0,9$ для двигунів із висотою осі обертання 50 – 132 мм і $K_m = 0,85$ при висоті осі обертання 160 – 280 мм (за відсутності статичного моменту $K_m = 1$); $P_{\text{ном}}$ — номінальна потужність двигуна, кВт; ν, γ — показники ступеня (для двигунів із висотою осі обертання до 355 мм $\nu = 1, \gamma = 2$); p — число пар полюсів.

1.1. Класифікація машин залежно від коефіцієнта інерції

Коефіцієнт інерції	Перелік машин
До 5	Транспортери, шнеки, норії, відцентрові насоси
5 – 15	Змішувачі кормів, відцентрові вентилятори, подрібнювачі соковитих кормів
15 – 55	Зернодробарки, універсальні дробарки, пневмотранспортери
55 – 100	Сепаратори

Із максимальним зведеним моментом інерції робочої машини двигун, нагрітий до усталеної температури, допускає один пуск, а з холодного стану — два послідовні пуски. При цьому температура обмотки двигуна з класом стійкості від нагрівання F досягає 225 °С, що відповідає температурі спрацювання вмонтованого температурного захисту. Таким чином, динамічний момент інерції в перехідних режимах нарівні з іншими параметрами зумовлює температурний режим двигуна.

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність статичних опорів машини від кутової швидкості.

Найбільш загальну залежність, що дає можливість класифікувати сільськогосподарські машини за їх механічними характеристиками, відображує емпірична залежність

$$M_c = M_{c.\text{поч}} + (M_{c.\text{ном}} - M_{c.\text{поч}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^x, \quad (1.3)$$

де $M_{c.\text{поч}}$ — початковий момент опору; $M_{c.\text{ном}}$ — момент статичних опорів машини при номінальній кутовій швидкості; ω — поточні значення кутової швидкості машини; $\omega_{\text{ном}}$ — номінальна кутова швидкість машини; x — показник степеня, що характеризує зміну статичного моменту опорів від кутової швидкості.

Всі машини та агрегати за механічними характеристиками поділяють на чотири групи, які відрізняються значенням показника степеня x у залежності (1.3).

1. $x = 0$. При цьому статичний момент опорів не залежить від кутової швидкості. До цієї групи машин відносять стрічкові транспортери, конвеєри з постійним навантаженням, підйомники.

2. $x = 1$. Статичний момент опорів змінюється за лінійним законом. Таку механічну характеристику мають зерноочисні машини.

3. $x = 2$. Статичний момент опорів змінюється за квадратичною залежністю. До цієї групи відносять осьові і радіальні вентилятори, відцентрові насоси, сепаратори, дробарки.

4. $x = -1$. Механічна характеристика має гіперболічний характер, що характерно для зернових норій.

Перелічені показники степеня характеризують типові механічні показники робочих машин. Реальні машини можуть мати показники степеня з відхиленням в той чи інший бік і їх механічні характеристики розміщуються в певній зоні.

Залежність статичних опорів від кутової швидкості розглядається при пуску машини без навантаження. Зазначене не відноситься до вентиляторів і відцентрових насосів, які працюють на відкритий повітря чи водопровід.

Залежно від початкового моменту опору сільськогосподарські машини поділяють на три групи (табл. 1.2).

Для машин першої групи допускається пуск електродвигунів при зниженій напрузі (пуск за схемою зірка — трикутник) з метою зниження падіння напруги в мережі при пуску потужних двигунів. Для машин другої групи, як правило, дозволяється пряме вмикання електродвигуна, а машини третьої групи потребують форсованого пуску за рахунок відцентрових фрикційних муфт.

1.2. Класифікація машин залежно від початкового моменту опору

Група	$M_{с.поч}/M_{с.ном}$	Перелік машин
1	До 0,3	Вентилятори, відцентрові насоси, молочні сепаратори, пневмотранспортери, зернові дробарки, що пускають вхолосту
2	0,31 – 1,0	Транспортери, конвеєри, підйомні машини
3	Більше 1,0	Дробарки і подрібнювачі грубих кормів, що пускають під навантаженням, пилогами, преси-гранулятори

Механічні характеристики робочих машин дають можливість вибрати електродвигун за пусковими властивостями, а також розв'язувати рівняння руху графічним способом.

Навантажувальною характеристикою (навантажувальною діаграмою) робочої машини називають залежність статичного опору або споживаної потужності від часу. Більшість сільськогосподарських машин мають випадковий характер навантажувальних діаграм і аналітично не розраховуються. Аналітично розраховують навантажувальні діаграми вентиляторів, відцентрових насосів, вакуум-насосів. Крім вентиляторів, відцентрових насосів, вакуум-насосів, постійний характер навантажувальної діаграми мають транспортери сипучих матеріалів, зерноочисні машини, млини, зернодробарки з автоматичними регуляторами завантаження (АРЗ). Слабкозмінний характер навантажувальної діаграми мають подрібнювачі соковитих кормів, зернодробарки без АРЗ, змішувачі вологих кормів. Різкозмінний характер навантажувальної діаграми мають подрібнювачі грубих кормів.

Навантажувальна діаграма є основою для визначення номінального режиму роботи двигуна та вибору його за потужністю. Крім того, при різкозмінній діаграмі навантаження піки статичного моменту або потужності використовують для перевірки двигуна за перевантажувальною здатністю або пусковому моменту, тобто вибирають двигун за електричними модифікаціями. Характер навантажувальної діаграми використовують при виборі системи захисту від тривалих перевантажень. При постійному та слабкозмінному навантаженні захист від тривалих перевантажень забезпечують за допомогою теплових реле, а при різкозмінному — пристроями вмонтованого температурного захисту, який також використовують при короткочасному та повторно-короткочасному режимах.

Енергетична характеристика робочої машини — це залежність питомих втрат енергії від продуктивності машини. Ці

характеристики дають можливість визначити оптимальний режим роботи з точки зору енергетичних витрат.

Раціональний електропривід до будь-якої машини можна вибрати лише на підставі аналізу привідних характеристик робочої машини.

1.3. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Однією з особливостей у роботі сільськогосподарських електроприводів є їх розосередженість на значних відстанях від джерела живлення. При цьому система, що включає джерело живлення, лінії низької напруги та електропривід, має бути стійкою, тобто двигун найбільшої потужності повинен надійно забезпечувати розгін робочої машини. Двигуни та їх електромагнітні комутаційні апарати, що вже працювали до пуску потужного електродвигуна, повинні також продовжувати надійно працювати.

Можливість прямого пуску потужного двигуна має місце, якщо фактичне відхилення напруги в мережі напругою 0,38 кВ, від якої живиться двигун, $\Delta V_{\text{ф.п}}^*$ не перевищує максимально допустиме $\Delta V_{\text{доп.п}}^*$. Фактичне та допустиме відхилення напруги розраховується в пусковому режимі. Фактичне відхилення напруги визначається за залежністю

$$\Delta V_{\text{ф.п}}^* = \pm \Delta V_{\text{в}}^* + \Delta V_{\text{т}}^* - \Delta U_{\text{п}}^* - \Delta U_{\text{т}}^* - \Delta U_{\text{л}}^*, \quad (1.4)$$

де $\Delta V_{\text{в}}^*$ — відхилення напруги на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, %; $\Delta V_{\text{т}}^*$ — надбавки напруги на трансформаторі, від якого живиться двигун, %; $\Delta U_{\text{п}}^*$ — сумарні втрати напруги за рахунок найбільшого пускового струму двигуна в трансформаторі та низьковольтній лінії до затискачів двигуна, %; $\Delta U_{\text{т}}^*$, $\Delta U_{\text{л}}^*$ — відповідно втрати напруги в трансформаторі та лінії 0,38 кВ за рахунок робочих струмів працюючих електроспоживачів до вмикання двигуна з найбільшим пусковим струмом, %.

Відхилення напруги на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ визначається за залежністю

$$\Delta V_{\text{в}}^* = \Delta V_{\text{тп}}^* - \Delta U_{\text{л.в}}^*, \quad (1.5)$$

де $\Delta V_{\text{ТП}}^*$ — відхилення напруги на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції 35/10 кВ, %. Як правило, за рахунок зустрічного регулювання при повному навантаженні $\Delta V_{\text{ТП}}^* = 5\%$, а при навантаженні 25 % $\Delta V_{\text{ТП}}^* = 0\%$; $\Delta U_{\text{Л.В}}^*$ — втрати напруги у лінії 10 кВ трансформаторної підстанції 35/10 кВ, %.

Надбавки напруги на шинах 0,4 кВ споживчого трансформатора визначаються при складанні таблиці відхилень та втрат напруги в електромережі. Так, для трансформаторів з витим магнітопроводом серії ТМВМ потужністю 25 – 250 кВА надбавки за рахунок перемикання відводів обмоток високої напруги, що забезпечує зміну коефіцієнта трансформації, складають $\pm 5\%$ ступенями через 2,5 %.

Сумарні втрати напруги, що створюються пусковим струмом в електромережі, визначаються залежністю

$$\Delta U_{\text{П}}^* = \frac{Z_{\text{Т}} + Z_{\text{Л}}}{Z_{\text{Т}} + Z_{\text{Л}} + Z_{\text{ДВ}}} 100, \quad (1.6)$$

де $Z_{\text{Т}} = U_{\text{НОМ}} U_{\text{К}} / I_{\text{НОМ}}$ — повний опір короткого замикання трансформатора, Ом; $Z_{\text{Л}} = Z_0 l$ — повний опір лінії (Z_0 — опір лінії 1 км завдовжки); l — довжина лінії, км; $Z_{\text{ДВ}} = U_{\text{НОМ}} / k_i I_{\text{НОМ}}$ — повний опір короткого замикання асинхронного двигуна; $U_{\text{НОМ}}$ — номінальна фазна напруга, В; $I_{\text{НОМ}}$ — номінальний фазний струм, А; k_i — кратність пускового струму двигуна; $U_{\text{К}}$ — напруга короткого замикання трансформатора, відносні одиниці (в. о.).

Втрати напруги в трансформаторі $\Delta U_{\text{Т}}^*$, що створюються робочим навантаженням, яке мало місце до вмикання потужного двигуна, визначають за формулою

$$\Delta U_{\text{Т}}^* = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} (U_{\text{а}}^* \cos \varphi + U_{\text{р}}^* \sin \varphi), \quad (1.7)$$

де S_{max} — максимальна потужність робочого навантаження, кВА; $S_{\text{НОМ}}$ — номінальна потужність трансформатора, кВА; $U_{\text{а}}^*$ — активна складова напруги короткого замикання трансформатора, %; $U_{\text{р}}^*$ — реактивна складова напруги короткого замикання трансформатора, %; $\cos \varphi$ — коефіцієнт потужності навантаження ($\cos \varphi \approx 0,8$).

Активну складову напруги короткого замикання визначають за залежністю

$$U_a^* = \frac{\Delta P_M}{S_{\text{НОМ}}} 100, \quad (1.8)$$

де ΔP_M — втрати потужності в обмотках трансформатора при номінальному навантаженні, які дорівнюють втратам потужності при короткому замиканні, кВт.

Реактивну складову напруги визначають за формулою

$$U_p^* = \sqrt{(U_k^*)^2 - (U_a^*)^2}, \quad (1.9)$$

де U_k^* — напруга короткого замикання трансформатора, % (приймається з технічної характеристики трансформатора).

Втрати напруги в лінії $\Delta U_{\text{Л}}^*$, %, що створюються робочим навантаженням, яке працювало до вмикання потужного двигуна, визначають за залежністю

$$\Delta U_{\text{Л}}^* = \frac{(r_0 P + x_0 Q) l}{U_{\text{НОМ}}^2} 100, \quad (1.10)$$

де r_0 , x_0 — відповідно активний та індуктивний опори провідів лінії довжиною 1 км, Ом/км; P — активна потужність, що передається по лінії, кВт; Q — реактивна потужність у лінії, кВАр; l — довжина лінії, км.

Пуск потужного двигуна буде проходити нормально, якщо виконується умова

$$M_{\text{П}} (1 - \Delta V_{\text{доп.п}})^2 \geq M_{\text{зр}} + M_{\text{надл}}, \quad (1.11)$$

де $M_{\text{П}}$ — пусковий момент двигуна, Н·м; $\Delta V_{\text{доп.п}}$ — допустиме відхилення напруги на затискачах двигуна, в.о.; $M_{\text{зр}}$ — момент зрушення робочої машини, Н·м (визначається з механічної характеристики робочої машини); $M_{\text{надл}}$ — надлишковий момент, який забезпечує необхідне прискорення системи двигун — робоча машина, Н·м. Надлишковий момент приймають $0,25 M_{\text{НОМ}}$. З умови (1.11) визначають допустиме відхилення напруги на затискачах двигуна, що пускається, в % і дорівнює

$$\Delta V_{\text{доп.п}}^* = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{\text{зр}} + 0,25 M_{\text{НОМ}}}{M_{\text{П}}}} \right) 100. \quad (1.12)$$

Вираз (1.12) дає можливість визначити допустиме відхилення напруги на затискачах двигуна, що пускається. При цьому це відхилення може бути недопустимим для нормальної роботи електромагнітних комутаційних апаратів, які не можуть працювати при зниженні напруги більш ніж 30 %. Отже, фактичне зниження напруги на затискачах двигуна при його пуску порівнюють із максимально допустимим відхиленням для двигуна та допустимим відхиленням напруги для електромагнітних комутаційних апаратів.

При пуску потужного двигуна повинна забезпечуватись стійкість раніше працюючих двигунів, що має місце при умові

$$\Delta V_{\text{ф.с}}^* \leq \Delta V_{\text{доп.с}}^*, \quad (1.13)$$

де $\Delta V_{\text{ф.с}}^*$ — фактичне відхилення напруги на затискачах працюючого двигуна в статичному режимі, %; $\Delta V_{\text{доп.с}}^*$ — допустиме відхилення напруги на затискачах двигуна в статичному режимі %.

Фактичне відхилення напруги визначають із залежності

$$\Delta V_{\text{ф.с}}^* = (\pm \Delta V_{\text{в}})^* + \Delta V_{\text{т}}^* - \Delta U_{\text{п}}^* - \Delta U_{\text{т}}^* - U_{\text{л}}^*, \quad (1.14)$$

де $\Delta U_{\text{п}}^*$ — сумарні втрати напруги від пускового струму в трансформаторі та лінії 0,38 кВ від трансформаторної підстанції до точки приєднання працюючого двигуна, %, які визначають за виразом (1.6); $\Delta U_{\text{л}}^*$ — сумарні втрати напруги в лінії 0,38 кВ від трансформаторної підстанції до затискачів перевірного двигуна, що створюються ввімкненим навантаженням, %. Параметр $\Delta U_{\text{л}}^*$ визначається за виразом (1.10).

Параметри $\Delta V_{\text{в}}^*$, $\Delta V_{\text{т}}^*$, $\Delta U_{\text{т}}^*$ ті, що й у виразі (1.4).

Стійкість працюючого двигуна матиме місце при виконанні умови

$$M_{\text{к}}(1 - \Delta V_{\text{доп.с}})^2 \geq M_{\text{с.мак}}, \quad (1.15)$$

де $M_{\text{к}}$ — максимальний момент двигуна, що перевіряється на стійкість, Н·м (за довідковими даними); $\Delta V_{\text{доп.с}}$ — допустиме відхилення напруги на затискачах двигуна, стійкість якого перевіряється, в. о. (відносні одиниці); $M_{\text{с.мак}}$ — максимальний приведений для вала двигуна момент навантаження, Н·м.

Із формули (1.15) маємо

$$\Delta V_{\text{доп.с}}^* = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{\text{с. max}}}{M_{\text{к}}}} \right) 100. \quad (1.16)$$

За виразами (1.13) та (1.16) провадиться перевірка статичної стійкості системи двигун — робоча машина. При невиконанні умови (1.13) необхідно зробити оцінку динамічної стійкості. Система миттєво не зупиниться. За рахунок кінетичної енергії частин, що обертаються, система буде сповільнювати рух. Отже, якщо час пуску потужного двигуна менше ніж час гальмування двигуна, що перевіряється на стійкість, система динамічно стійка.

Якщо система нестійка, необхідно вжити заходів до зменшення пускового струму двигуна, що вмикається.

2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

2.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Водопостачання ферм і комплексів здійснюється за різними технологічними схемами, які класифікують за такими ознаками:

- способом водозабору: з відкритих водоймищ (річок, ставків, озер), шахтних колодязів, артезіанських свердловин. Для господарсько-питних потреб застосовують тільки два останні способи;

- способом подачі води споживачам: з безпосередньою подачею води у водопровідну мережу (застосовують у системах зрошення), водонапірною баштою, установками з гідроакмуляторами;

- способом розподілу води: системи з автонапувалками різних типів, системи з проточною водою.

Для прийнятої схеми водопостачання визначають подачу води та напір, які необхідні для вибору насоса.

Середньодобові витрати води на об'єкті $Q_{\text{сер.д}}$, м³/доб, визначають за формулою

$$Q_{\text{сер.д}} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i m_i, \quad (2.1)$$

де q_i — добова норма споживання води одним споживачем i -го виду; m_i — кількість споживачів i -го виду; n — кількість видів споживачів.

Добові норми споживання води основними групами тварин і птиці приймають за галузевими нормами технологічного проектування (ОНТП). Вони становлять, наприклад, для корів молочного напрямку — 100, телят — 20, свиноматок з поросятами — 60, свиней на відгодівлі — 15, курей яєчних порід — 0,76, м'ясних порід — 0,51 л/доб на одну голову.

За відомим добовим споживанням води визначають подачу насоса протягом однієї години, м³/год:

$$Q_{\text{max.год}} = \frac{Q_{\text{сер.д}} \alpha_{\text{доб}} \alpha_{\text{год}}}{24}, \quad (2.2)$$

де $\alpha_{\text{доб}}$ — коефіцієнт добової нерівномірності споживання води, $\alpha_{\text{доб}} = 1,3$; $\alpha_{\text{год}}$ — коефіцієнт годинної нерівномірності (для систем з автонапувалками $\alpha_{\text{год}} = 2,5$; без автонапувалок $\alpha_{\text{год}} = 4$).

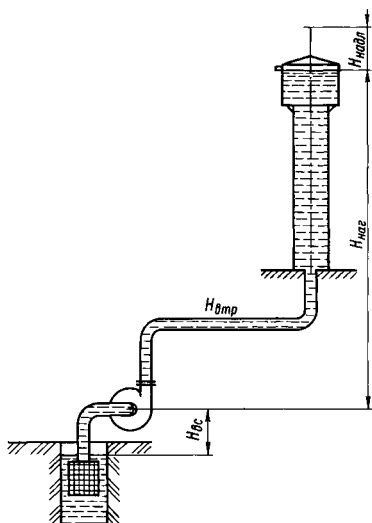


Рис. 2.1. Технологічна схема визначення розрахункового напору насоса

Максимальні секундні витрати води, м³/с, дорівнюють

$$Q_{\text{max.с}} = \frac{Q_{\text{max.год}}}{3600} + Q_{\text{пож}}, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{пож}}$ — витрати води на гасіння пожежі, приймають за даними будівельних норм і правил (СНиП). Для типових сільськогосподарських приміщень $Q_{\text{пож}} = 5 - 10$ л/с при тривалості пожежі до 3 год.

Розрахунковий напір води H_p , м, у системі, який повинен забезпечуватись насосом, визначають за технологічною схемою водопостачання з урахуванням геодезичних позначок (рис. 2.1):

$$H_p = H_{\text{вс}} + H_{\text{наг}} + H_{\text{втр}} + H_{\text{надл}}, \quad (2.4)$$

де $H_{\text{вс}}$ — висота всмоктування (відстань від осі насоса до рівня води у водозабірній споруді); $H_{\text{наг}}$ — висота нагнітання (відстань від осі насоса до найвищого рівня у водонапірній башті); $H_{\text{втр}}$ — втрати напору в трубопроводах, вентилях, засувках; $H_{\text{надл}}$ — надлишковий напір.

За одержаними даними $Q_{\text{max.c}}$ та H_p з урахуванням технологічних схем вибирають насос.

2.2. МЕХАНІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСІВ

Для сільськогосподарського водопостачання застосовують кілька типів насосів, серед яких найпоширенішими є відцентрові консольні насоси з осовим входом для води типу К, консольні насоси у моноблоці з електродвигуном типу КМ, осові та заглибні електронасоси типу ЭЦВ. Крім того, в окремих випадках застосовують вихрові насоси типів В і ВК.

Механічні характеристики відцентрових насосів мають типову вентиляторну характеристику, яка описується рівнянням

$$M_{\text{нас}} = M_0 + (M_{\text{н.нас}} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^2, \quad (2.5)$$

де M_0 — початковий момент (момент зрушення), Н·м; $M_{\text{н.нас}}$ — момент опору при номінальній кутовій швидкості; $\omega_{\text{н}}$ — номінальна кутова швидкість; ω — поточна кутова швидкість.

Механічна характеристика (рис. 2.2) залежить також від способу пуску. За технологією рекомендують запускати відцентровий насос із закритою засувкою на напірному трубопроводі (лінія 1), при цьому момент опору на швидкості, близькій до номінальної, становить 0,4 – 0,5 $M_{\text{ном}}$, тобто пуск значно полегшений. Після запуску відкривають засувку (лінія 3) і характеристика насоса переходить у робочу точку А. Якщо при пуску засувка буде відкрита, то пуск проходитиме зі значно більшими моментами (лінія 2), і за певних обставин (зниження напруги) може порушитись умова $M_{\text{дв}} > M_{\text{нас}}$, наприклад у точці мінімального моменту двигуна.

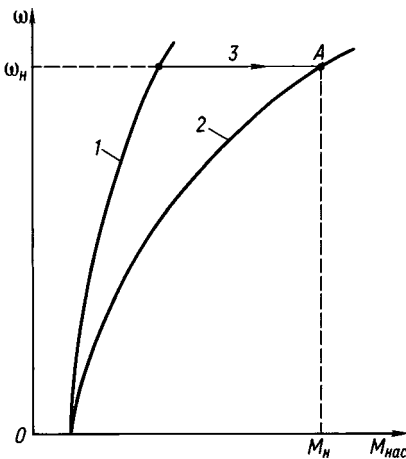
Особливістю відцентрових насосів є те, що зі зміною кутової швидкості різко змінюються основні параметри насоса. При цьому мають місце пропорції:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3, \quad (2.6)$$

де Q_1, H_1, M_1, P_1 — відповідно продуктивність, напір, момент опору та споживана потужність при швидкості ω_1 , решта — при ω_2 .

Із цих пропорцій найбільшої уваги з точки зору електропривода заслуговує залежність споживаної потужності від частоти обертання (кутової швидкості). Розглянемо це на конкретному прикладі. Відцентровий насос із механічною характеристикою $M_{\text{нас}}(n)$ (рис. 2.3) приводиться в дію електродвигуном $M1$ потужністю 3,0 кВт, $n_c = 1000$ об/хв. Механічна характеристика цього двигуна побудована для спрощення за округленими даними. Робоча точка насоса з двигуном — A . Двигун $M1$ вийшов із ладу і через дефекти паспорта його замінили на двигун $M2$ з тією самою потужністю, але з $n_c = 1500$ об/хв (характеристика $M2(n)$). Враховуючи особливість $M_{\text{нас}}(n)$, момент насоса зростає в другому степені і робоча точка агрегату буде A' (номінальний момент двигуна $M2$ позначений точкою B). Як видно з рисунка, навантаження $M2$ буде майже вдвічі більшим за номінальне (близьким до $M_{\text{кр}}$) і природно, що двигун буде перегріватись і може вийти з ладу.

Одночасно при зростанні частоти обертання в 1,5 раза подача насоса зростає теж в 1,5 раза, а напір в 2,25



Одночасно при зростанні частоти обертання в 1,5 раза подача насоса зростає теж в 1,5 раза, а напір в 2,25

Рис. 2.2. Механічні характеристики відцентрового насоса:

1 — пуск при закритій засувці на напірному трубопроводі; 2 — те саме, при відкритій засувці; 3 — лінія відкриття засувки після запуску насоса

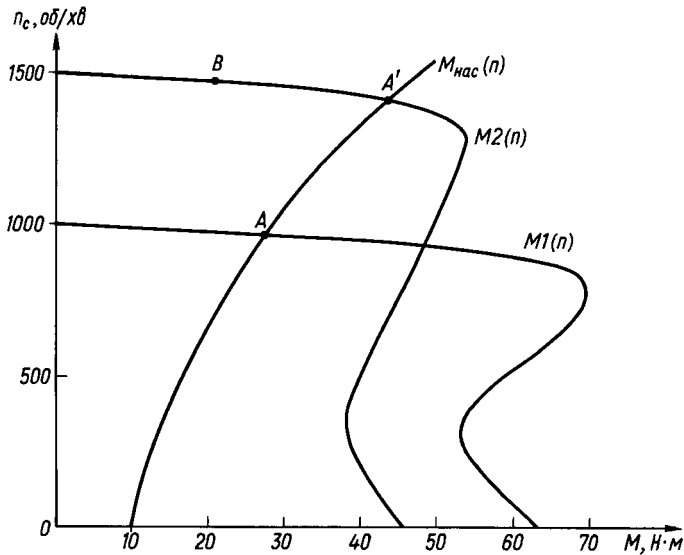


Рис. 2.3. Сумісні механічні характеристики відцентрового насоса та електродвигунів з різними частотами обертання

раза, оскільки $H \equiv n^2$, що значно змінить параметри водопостачання і може призвести до негативних наслідків.

До енергетичних характеристик відцентрового насоса відносять залежність ККД (η), напору (H), споживаної потужності (P) від подачі Q , яка змінюється за рахунок зміни положення засувки (рис. 2.4), при цьому в точці $Q = 0$ засувка на вихідному патрубку закрыта повністю. Основним енергетичним показником, що буде визначальним при виборі режиму роботи, є ККД насоса. Із ростом подачі насоса η зростає до η_{\max} . Цій точці відповідає оптимальне значення подачі $Q_{\max \eta}$. При виборі двигуна враховують, що з точки зору найменших втрат енергії η повинно знаходитись у зоні $(0,9 - 1,0) \eta_{\max}$. Це відповідає подачі насоса в межах $Q_1 - Q_2$.

Споживана двигуном потужність із ростом подачі теж зростає і для відцентрових насосів досягає максимуму при максимальній подачі та мінімальному напорі. Коли засувка повністю закрыта ($Q = 0$), двигун споживає мінімальну потужність, що підтверджує висновок про те, що пуск відцентрового насоса треба здійснювати при закритій засувці.

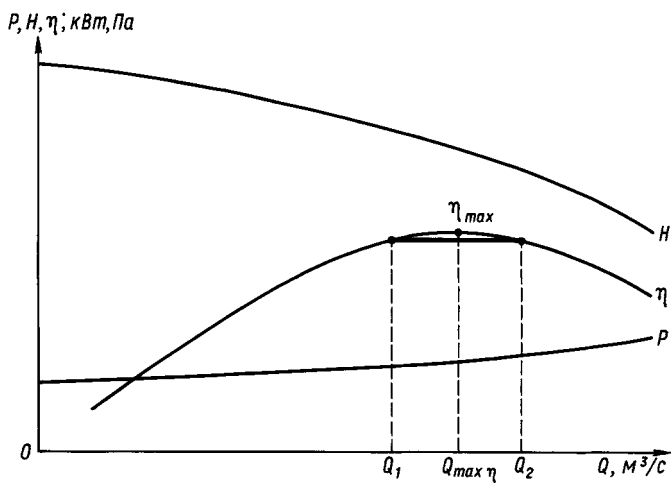


Рис. 2.4. Енергетичні характеристики відцентрового насоса

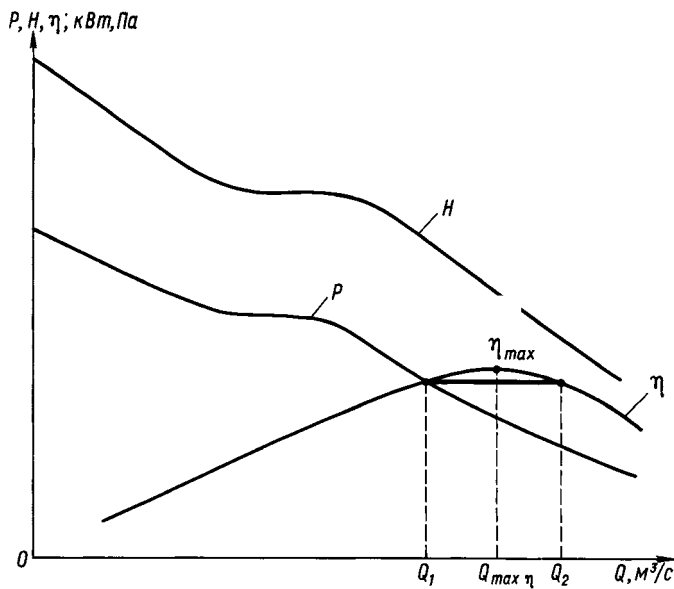


Рис. 2.5. Енергетичні характеристики осевого насоса

Енергетичні характеристики осьового (пропелерного) насоса (рис. 2.5) відрізняються від попередніх. Якщо ККД має ту саму закономірність, максимум і зону оптимальних значень, то споживана потужність має максимальне значення при закритій засувці ($Q = 0$). При цьому потужність в 1,7 – 1,8 раза перевищує значення номінальної, коли засувка відкрита.

Звідси витікає правило: осьовий насос необхідно запускати тільки при відкритій засувці; робота із закритою засувкою є аварійним режимом. Найчастіше засувку на вихідному патрубку у цих насосів взагалі не встановлюють.

2.3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ПРИВОДА НАСОСІВ

За даними попереднього вибраного насоса ($Q_{\text{нас}}$, $H_{\text{нас}}$, $\eta_{\text{нас}}$) визначають його розрахункову потужність $P_{\text{розр}}$, кВт, за виразом

$$P_{\text{розр}} = \frac{Q_{\text{нас}} H_{\text{нас}} \rho g}{\eta_{\text{нас}} 10^3}, \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{нас}}$ — подача насоса, м³/с; $H_{\text{нас}}$ — висота підйому води (напір), м; ρ — густина води, кг/м³; g — прискорення вільного падіння, м/с²; $\eta_{\text{нас}}$ — коефіцієнт корисної дії насоса.

Потужність привідного двигуна $P_{\text{н.дв}}$, кВт, визначають за співвідношенням

$$P_{\text{н.дв}} \geq \frac{K_3 P_{\text{розр}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (2.8)$$

де $\eta_{\text{пер}}$ — ККД передачі (при безпосередньому з'єднанні двигуна з насосом $\eta_{\text{пер}} = 1$, для клинопасової передачі — 0,97); K_3 — коефіцієнт запасу (при потужності двигуна до 1,5 кВт $K_3 = 1,5$; від 1,5 до 4,0 кВт — 1,2; від 4,0 до 35 кВт — 1,15; більше 35 кВт — 1,1).

Вибір параметрів насоса для зрошення провадять із урахуванням зрошувальної норми — кількість води, м³/га, яка вноситься в ґрунт за весь період вегетації рослин. Ця норма вноситься за кілька поливів, що провадяться в різні періоди сезону, і називається поливною нормою.

Норму подачі води q , л/с·га, називають гідромодулем і розраховують за формулою

$$q = \frac{\alpha N_{\Pi} 1000}{t \tau 3600}, \quad (2.9)$$

де $\alpha = \frac{F_i}{\sum F_i}$ — частка даної культури в сівозміні; F_i — площа, зайнята однією культурою, га; N_{Π} — поливна норма, м³/га; t — поливний період, діб; τ — тривалість поливу за одну добу, год/доб.

За результатами розрахунків для всіх культур складають графік гідромодуля $q(t)$, підсумовуючи водоподачу, коли терміни поливу збігаються. Щоб зменшити максимуми подачі, графік упорядковують, зміщуючи терміни поливу.

Загальну кількість води, що подається на всю площу, визначають за виразом

$$Q_{\text{розр}} = \frac{q_{\text{max}} F}{\eta_c}, \quad (2.10)$$

де $Q_{\text{розр}}$ — загальна подача води на всю площу, л/с; q_{max} — максимальне значення гідромодуля; F — площа, що зрошується, га; η_c — ККД зрошувальної системи, який враховує втрати води, $\eta_c = 0,75$.

Розрахунковий напір ($H_{\text{розр}}$) визначають за геодезичними позначками як різницю між рівнем води у водозабірній споруді та максимальною висотою подачі води з урахуванням втрат та необхідного надлишкового тиску. За цими даними вибирають насос зрошення, який може бути відцентровим або осьовим залежно від технологічної схеми, системи водозабору та параметрів водоподачі.

Потужність двигуна для привода насоса зрошення вибирають за тими самими залежностями, що і для насосів водопостачання. Привід насосів водопостачання та зрошення забезпечується такими типами двигунів. Насоси типів К, КМ, В, ВК, а також осьові (пропелерні) за механічною характеристикою, пусковими якостями, конструктивним виконанням не висувають особливих вимог до електродвигуна. Тому для їх привода застосовують двигуни серії АІР загального виконання з відповідним ступенем захисту (У1, У2, У5) від

впливу навколишнього середовища. На великих станціях зрошення з відцентровими або осьовими насосами потужністю до 300 кВт встановлюють асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором напругою 380 В при потужності до 100 кВт і 6300 В — до 300 кВт. Якщо розрахункова потужність насосної станції перевищує 300 кВт, встановлюють синхронні електродвигуни високої напруги.

Перевагою синхронних двигунів з незмінна і стійка частота обертання, а також можливість використання цих двигунів як компенсаторів реактивної потужності в електричній мережі. Їх недолік — складні схеми пуску та автоматизації, які потребують високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Пуск асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором потужністю 75 – 300 кВт здійснюють теж за спеціальними, але простішими схемами (реакторний, автотрансформаторний пуск).

Для водопостачання ферм, комплексів, тепличних господарств, а також для забезпечення побутових потреб населення найчастіше використовують електронасосні агрегати серії ЭЦВ, які піднімають воду з артезіанських свердловин глибиною 50 – 250 м. Ці насоси комплектуються спеціальними трифазними електродвигунами з короткозамкненим ротором серії ПЭДВ (П — заглибний, ЭД — електродвигун, В — водозаповнений).

Основні конструктивні відмінності двигунів серії ПЭДВ від двигунів загального виконання (рис. 2.6):

- двигун виконаний з подовженим ротором з метою зменшення зовнішнього діаметра;
- двигун не має самовентиляції, в тому числі на роторі, охолодження здійснюється за рахунок води в свердловині, температура якої не повинна перевищувати + 25 °С;
- статор двигуна являє собою сталю гладеньку трубу, в яку запресований пакет сталі;
- у двигуні застосовані підшипники ковзання сталь — гума; верхній складається з 2 пар армованих гумових втулок і сталюї втулки на валу, нижній — крім того, з п'яти з підп'ятником із тих самих матеріалів (замість гуми застосовують текстоліт). Змащення підшипників здійснюється водою;
- обмотка статора виконана проводом ПВДП-1 з вологостійкою полівініловою ізоляцією;
- перед зануренням у свердловину двигун заповнюється через спеціальну пробку чистою водою, яка використовується

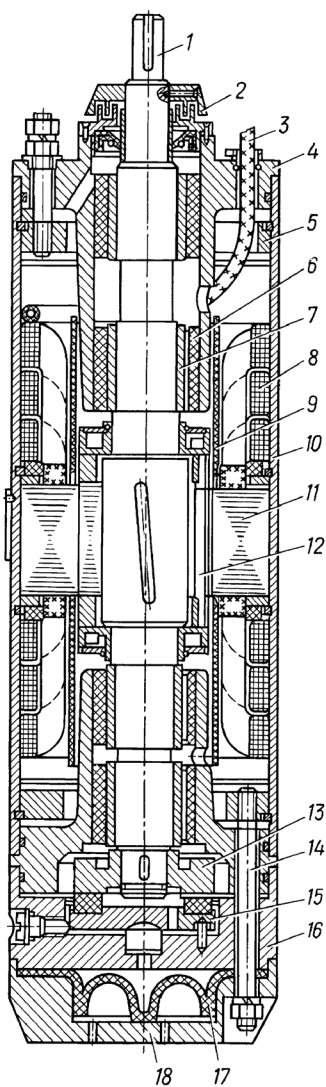


Рис. 2.6. Конструктивний розріз заглибного електродвигуна ПЭДВ-28-140:

1 — вал; 2 — пристрій скидання піску; 3 — вивідний привід; 4 — верхній підшипниковий щит; 5 — фіксуюче кільце; 6 — гумово-металічна втулка підшипника; 7 — стальна втулка підшипника; 8 — обмотка статора; 9 — захисний циліндр; 10 — корпус; 11 — пакет сталі статора; 12 — обмотка ротора; 13 — підшипникова п'ята; 14 — шпилька кріплення; 15 — під'ятник; 16 — корпус під'ятника; 17 — діафрагма; 18 — днище

ся для охолодження і змащення (звідси назва “водозаповнений”);

- конструктивно двигун виготовлений без лап та фланців (виконання ІМ 9000), разом з насосом кріпиться на колонці труб вертикально валом уверх. З'єднання двигуна з насосом — жорсткою муфтою;

- живлення до електродвигуна підводять спеціальними проводами марки ВПВ або ВПП.

Механічна характеристика цього двигуна дещо відрізняється від загальної серії. Так, номінальне значення кратності пускового моменту для двигунів потужністю до 16 кВт становить 1, більше 16 кВт — 0,85 (у двигунів основного виконання — 1,4–2,2). Кратність максимального моменту дорівнює 2, кратність пускового струму не більше 7.

Враховуючи низьку допустиму температуру нагрівання ізоляції обмоток статора (близько 60 °С), двигуни допускають до трьох вмикань на годину з інтервалом між ними 5 хв.

Аварійними режимами для двигуна ПЭДВ, крім короткого замикання, струмів перевантаження та обриву фази, є відсутність води в свердловині (“сухий хід”) та потрапляння забрудненої води всередину двигуна, що призводить до виходу з ладу підшипників.

2.4. СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НАСОСІВ

Регулювання подачі насосів у сільськогосподарському виробництві застосовують лише в окремих випадках: у системах тепло- і водопостачання населених пунктів, установах зрошення.

Основні способи регулювання:

1. Зміна кількості працюючих насосних агрегатів при паралельній їх роботі; застосовують на насосних станціях, де кількість насосних агрегатів більше двох. Перевагою цього способу є те, що в процесі регулювання двигуни насосів працюють з номінальним навантаженням, а значить з високим ККД. Крім того, схеми автоматизації за цим способом достатньо прості з можливістю резервних варіантів роботи. Недоліками є збільшення капітальних вкладень на обладнання, невеликий коефіцієнт використання насосних агрегатів протягом року, необхідність перевірки електроприводів на допустиме число вмикань на годину.

2. Дроселювання (зміна положення засувки на трубопроводі) застосовують в основному, коли треба обмежити подачу насоса з технологічних причин. Привід засувки може бути ручним та електричним, в останньому випадку процес регулювання може бути автоматизований. Межі регулювання подачі насоса — від 0 до $Q_{\text{ном}}$. Основна перевага цього способу — простота та можливість здійснення в місцевих умовах при незначних капітальних витратах. Проте зміна положення засувки (див. рис. 2.4) призводить до зміни основних енергетичних характеристик насоса. Зменшення подачі дроселюванням доцільне лише в межах від Q_1 до Q_2 , де ККД насоса зменшується в межах $0,1 \eta_{\text{max}}$.

При подальшому регулюванні до $(0,3 - 0,5) Q_{\text{ном}}$ ККД значно знижується, що призводить до підвищення втрат електроенергії. Тривала робота насоса з низькими подачами при постійній частоті обертання двигуна економічно не виправдана. Крім того, одночасно зі зміною подачі збільшується напір насоса, що не завжди доцільно. Оскільки потужність, споживана двигуном при дроселюванні, зменшується в незначних межах (при $\omega = \text{const}$), а подача може зменшуватись в 2 і більше разів, питомі показники роботи електронасоса, кВт/м^3 , значно погіршуються.

3. Регулювання зміною частоти обертання електродвигуна. Основним типом привідного двигуна для насосів є трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором, для

якого застосовують три способи регулювання частоти обертання: зміною підведеної до двигуна напруги, кількості пар полюсів та частоти струму мережі живлення. Для механізмів із вентиляторною механічною характеристикою регулювання зміною підведеної напруги ефективно в межах 1 : 4, 1 : 6, оскільки завантаження двигуна в процесі регулювання залишається близьким до номінального і ККД регулювання достатньо високий.

Із трьох способів регулювання частоти обертання електро-двигуна насосів перевагу віддають першому, враховуючи, що для другого способу треба застосовувати спеціальні багатошвидкісні двигуни, а для третього — значні капітальні вкладення на перетворювач частоти. Загальним їх недоліком є ускладнення схем керування. Більш ретельно питання регулювання частоти обертання привідних двигунів механізмів з вентиляторною характеристикою розглянуті в третьому розділі.

2.5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

Залежно від конструкції водопідйомної установки, способу забору і подачі води в мережу та режиму роботи використовують такі принципи автоматичного керування:

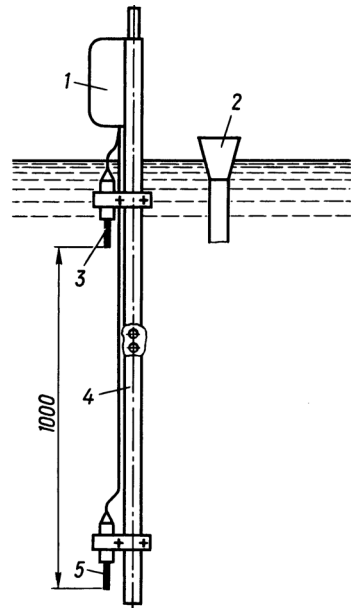
- 1) за рівнем води в гідроаккумуляторній споруді (режим водопідйому);
- 2) за рівнем води в свердловині чи колодязі (режим дренажу);
- 3) за тиском стовпа води в гідроаккумуляторній споруді (режим водопідйому);
- 4) за тиском у пневмогідроаккумуляторі;
- 5) за тиском води в системі зрошення;
- 6) за програмою, складеною відповідно до технологічної карти водопостачання чи зрошення.

Схема, побудована за будь-яким із цих принципів, повинна відповідати загальним вимогам: бути надійною в роботі, простою, з максимальною кількістю однотипних елементів, зручною у керуванні, ремонтпридатною, простою в обслуговуванні, дешевою.

У сільськогосподарському виробництві найбільше застосування знайшов **перший принцип автоматизації**, коли за технологією вода нагромаджується в гідроаккумуляторній споруді (найчастіше це башта Рожновського), а звідти надходить у водорозподільну мережу. Рівень води в башті контролюється стержневим датчиком (рис. 2.7), який працює за принципом

Рис. 2.7. Схема установки датчика рівнів води:

1 — вивідна коробка датчика; 2 — зливна труба водонапірної башти; 3 — контакт верхнього рівня; 4 — стержень для кріплення датчиків; 5 — контакт нижнього рівня



електропровідності води, коли простір між електродами верхнього (3 – 4) чи нижнього (5 – 4) рівнів заповнений водою. Це відповідає замкненим контактам. Коли води немає — контакти розімкнені. Електроди рівнів являють собою оцинковані сталльні стержні діаметром 10 мм, які закріплені в ізоляційних вставках. Датчик рівня розміщується в башті згідно зі схемою (рис. 2.8). Відстань між контактами верхнього (КВУ) та нижнього (КНУ) рівнів визначає регульований об'єм башти. Між баштою та станцією керування прокладають лінію зв'язку (65 – 66 – N).

Між баштою та станцією керування прокладають лінію зв'язку (65 – 66 – N).

На цьому принципі побудовані станції керування насосними установками серій ПЭТ, ШЭТ, ШЭП, “Каскад”, УСУЗ та інші, які відрізняються одна від одної елементною базою (перші дві з виробництва зняті).

Схема керування (рис. 2.9) працює так. Коли напруга на схему подана, перемикач SA1 знаходиться в положенні “А” (автоматичне керування) і води в регульованій частині башти немає, контакти датчика рівня КВУ та КНУ не омиваються водою, отже, вони розімкнені, котушка реле KV1 не отримує живлення, його контакти KV1.2 замкнені, що створює умови для спрацювання пускача КМ, який подає напругу на статор двигуна насоса. Вода починає наповнювати башту.

Якщо рівень води в башті досягає контактів КНУ, вони замикаються водою, але KV1 не спрацьовує, оскільки в цьому самому колі є розімкнені контакти реле KV1.1. Насос продовжує працювати.

Коли рівень води в башті досягає КВУ, отримує живлення котушка реле KV1, реле спрацьовує, розмикає контакти KV1.2, електродвигун насоса вимикається. Котушка KV1 живиться через випрямляч VD, що виключає вібрацію реле

при нечіткому контакті та резистор R , який знижує напругу до 48 В.

У процесі споживання води рівень її в башті знижується, контакти КВУ виходять із води (розрив кола), але електродвигун насоса не вимкнеться, оскільки реле $KV1$ продовжує отримувати живлення через ланку $KV1.1$ – КНУ. Реле $KV1$ втрапить живлення тільки після того, як рівень води буде нижче КНУ. Тоді його контакти $KV1.2$ замикаються, вмикається двигун насоса і цикл повторюється. Чим менша відстань між КВУ і КНУ, тим більшою буде частота вмикання насоса при незмінному споживанні води.

У положенні перемикача $SA1$ “Р” (ручне) двигун насоса вмикається оператором незалежно від рівня води в башті, тобто працює лише нижня ланка кіл керування.

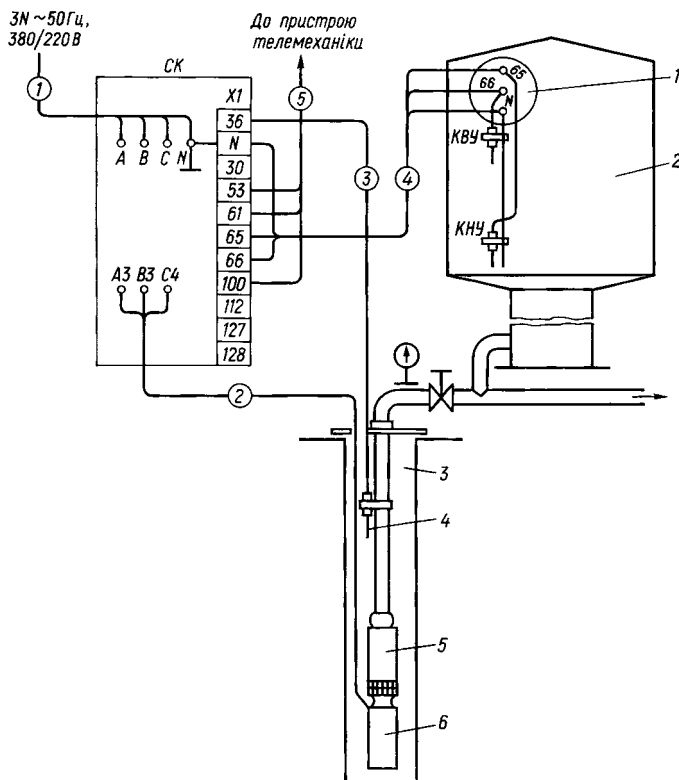


Рис. 2.8. Схема з'єднань пристрою керування установкою водопостачання: 1 — датчик рівня; 2 — водонапірна башта; 3 — свердловина; 4 — датчик “сухого ходу”; 5 — насос; 6 — заглибний електродвигун

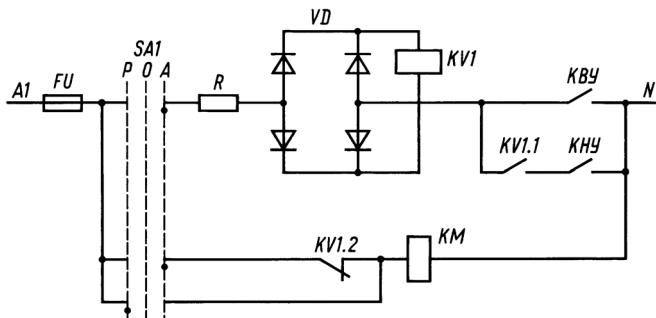


Рис. 2.9. Релейно-контактна електрична схема керування електронасосом за рівнем води в башті

У станції керування серії ШЭП цей самий принцип реалізований так (рис. 2.10). Попередньо спеціальними перемичками замикають клеми 56 – 57 (перемичка XT2) та 23 – 63 (XT1), перемикач SA2 ставлять у положення В (водопідйом), а SA1 — у положення АУ (автоматичне керування).

Якщо у водонапірній башті води немає, а отже, KBY та KHY розімкнені, сигнал від датчика рівня в схему не надходить. Стабілітрон VD12 пробитий зворотною напругою, транзистор VT3 відкритий базовим струмом, величина якого визначається резистором R6, реле KV ввімкнене, а отже, ввімкнений пускач KM (за ланкою C2 – KV – KM – N). Подається напруга на електродвигун насоса і вода починає надходити в башту (резервуар). При спрацюванні реле KV розмикає свій замкнений контур у колі KHY. Коли вода досягає верхнього контрольованого рівня, контакт KBY замикається і від трансформатора T4 надходить напруга, яка пробиває стабілітрон VD11. Негативний сигнал проходить через стабілітрон VD12 і закриває транзистор VT3, оскільки припинається базовий струм. Реле KV втрачає живлення, а разом з ним вимикається і пускач KM, електронасос зупиняється. Контакт реле KV у колі KHY замикається. При споживанні води рівень її в башті знижується і коли контакти KHY виходять із води, коло розривається.

Сигнал, який замикає транзистор VT3, зникає, останній відкривається, реле KV вмикається і вимикається пускач KM у статорному колі електронасоса. Цикл повторюється знову.

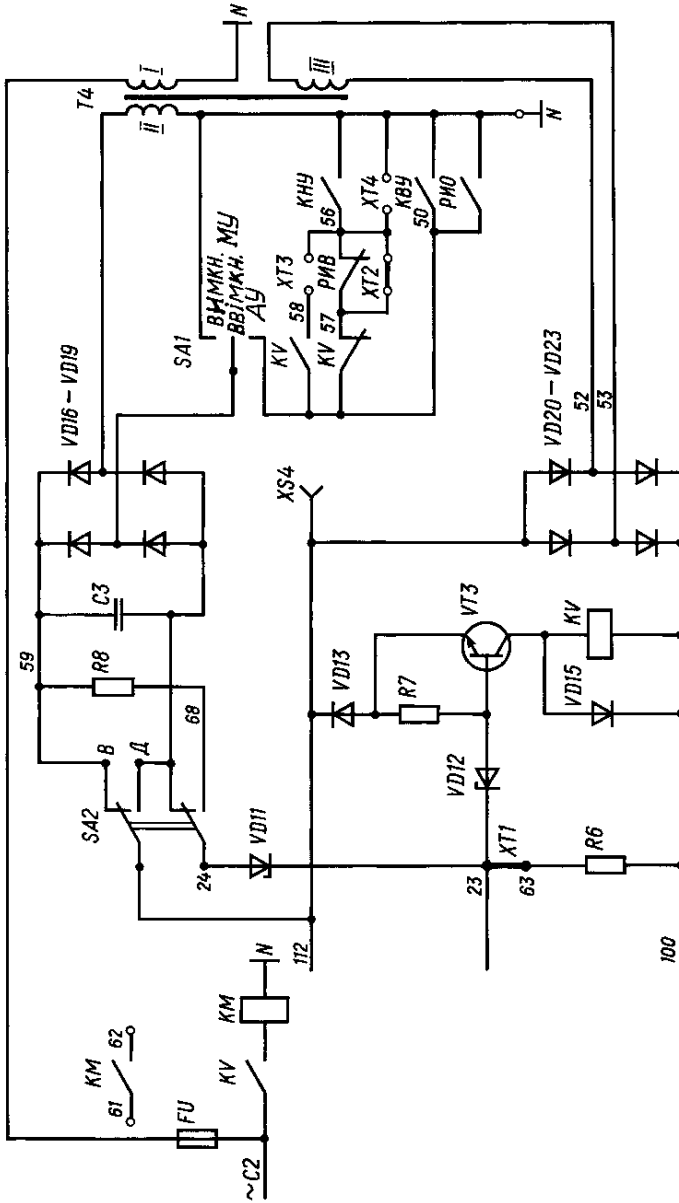


Рис. 2.10. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за рівнем води в багні (станція ШЕП 5802)

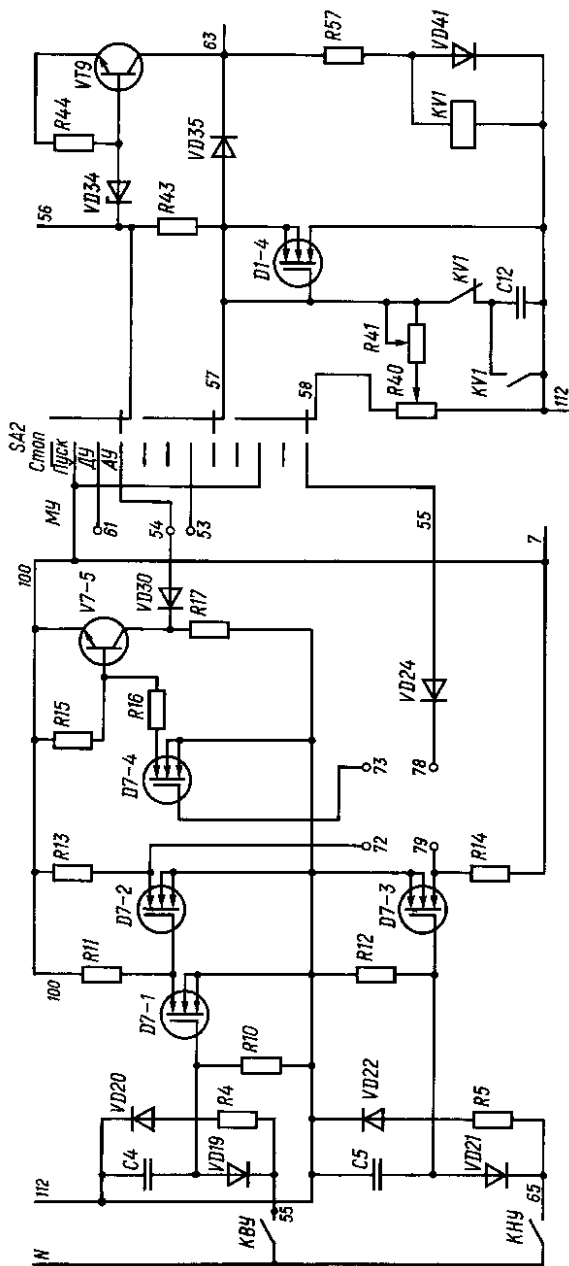


Рис. 2.1.1. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за рівнем води в башті (станція "Каскад")

У станції серії “Каскад” (рис. 2.11) всі функції керування водопідйомом виконує блок БОН 9200. Схема побудована на польових транзисторах. Для переведення станції в режим водопідйому перемикають попарно клеми 72 – 73 та 78 – 79, а перемикач SA2 ставлять у положення АУ (автоматичне керування).

При відсутності води у водонапірній башті контакт КНУ розімкнений, а транзистор D7–3 закритий. Негативний потенціал від джерела живлення через резистор R14, діод VD24 та перемикач SA2 прикладається до потенціометра R40, а через нього — до ланки R41 – C12. Після закінчення витримки часу, яка визначається параметрами резисторів R40, R41 та конденсатора C12, вмикається реле KV1, яке своїм контактом подає сигнал на пуск електронасоса. Коли вода замкне КНУ, транзистор D7–3 відкривається, але реле KV1 залишається ввімкненим, оскільки на затвор транзистора D1–4 подається негативний потенціал через діод VD35.

Лише коли вода замкне контакт КВУ, транзистор D7–1 відкривається, D7–2 — закривається, D7–4 та V7–5 — відкриваються. Негативний потенціал джерела живлення через відкритий транзистор V7–5, діод VD30, перемикач SA2 та стабілітрон VD34 прикладається до бази транзистора VT9, який закривається, реле KV1 втрачає живлення і вимикає силовий пускач КМ.

При зниженні рівня води нижче КВУ насос не вмикається, оскільки транзистор D7–3 залишається відкритим через замкнений КНУ і до затвора транзистора D1–4 не прикладений негативний потенціал. Лише після виходу з води КНУ транзистор D7–4 закривається і пуск насоса здійснюється в описаній раніше послідовності.

Другий принцип автоматизації застосовується, коли електронасос використовують для зниження рівня ґрунтових вод (дренажу). У цьому випадку датчики рівня встановлюють у свердловинах або колодязях, де контролюють рівень води. На відміну від попереднього принципу електронасос повинен вмикатися, коли контрольований рівень води досягає контактів КВУ, а вимикатися при зниженні рівня води до заданого КНУ.

У станції керування серії ШЭП (див. рис. 2.10) перемикач SA2 ставлять у положення Д (дренаж), клеми 56 – 58 перемикають ХТЗ. Якщо свердловина заповнена водою, тобто КВУ та КНУ замкнуті, транзистор VT3 відкривається базовим струмом, який проходить по колу: трансформатор T4 — діодний місток — VD16 – VD19 — перемикач SA2 — провід

112 — діод *VD13* — емітер — база транзистора *VT3* — стабілітрон *VD12* — стабілітрон *VD11* — перемикач *SA2* — провід 68 — резистор *R8* — діодний місток *VD16 – VD19* — перемикач *SA1* — провід 50 — КВУ або *KV* – КНУ — трансформатор *T4*. По котушці *KV* проходить струм, реле спрацьовує і вмикається пускач *KM*. Електронасос починає відкачувати воду із свердловини. Одночасно реле *KV* замикає свій контакт у колі КНУ і до того часу, поки рівень води не впаде нижче КНУ, електронасос буде працювати.

Як тільки КНУ розімкнеться, розмикається коло базового струму транзистора *VT3* і останній замкнеться. Реле *KV* вимкнеться і вимкне *KM*, одночасно реле *KV* замкне свій контакт у колі КНУ. Електронасос не почне працювати доти, поки вода в свердловині не замкне КВУ. Далі цикл керування повторюється.

Для переведення станції серії “Каскад” у режим дренажу необхідно перемикач *SA2* (див. рис. 2.11) перевести в положення АУ (автоматичне керування) та встановити перемички на платі блока керування 72 – 78; 73 – 79, що забезпечує зворотню дію датчиків рівня, тобто при замиканні КВУ електронасос вмикається, а при розмиканні КВУ та КНУ — вимикається.

Третій принцип автоматизації застосовують у водопідійомних установках з водонапірною баштою і станцією керування серії “Каскад”, в якій замість чарунки керування за рівнем (ЯУУ) повинна бути поставлена чарунка керування за тиском (ЯУД) (рис. 2.12). На вхідному в башту патрубку води встановлюють електроконтактний манометр.

Щоб перевести станцію в режим керування за тиском, перемикач *SA2* ставлять у положення АУ. В блоці “час роботи насоса” встановлюють перемичку для заповнення башти водою (час визначається експериментально). Перемичка встановлюється між клемою 80 та однією з клем набору резисторів 83 – 92.

Рухомий контакт електроконтактного манометра переводять у таке положення, щоб при зниженні рівня води в башті нижче контрольованого, що рівнозначно зниженню тиску стовпа води в башті, відбувалось надійне вмикання насоса.

При низькому тиску води контакт манометра ДДВ замкнений і негативний потенціал через контакт ДДВ, роз'єм Х : 4 та діоди *VD37 – VD35* прикладається до затвора транзистора *D1–4* та до обмотки реле *KV1* (див. рис. 2.5 та 2.6). Реле *KV1* вмикається, внаслідок чого спрацьовує *KM* і насос

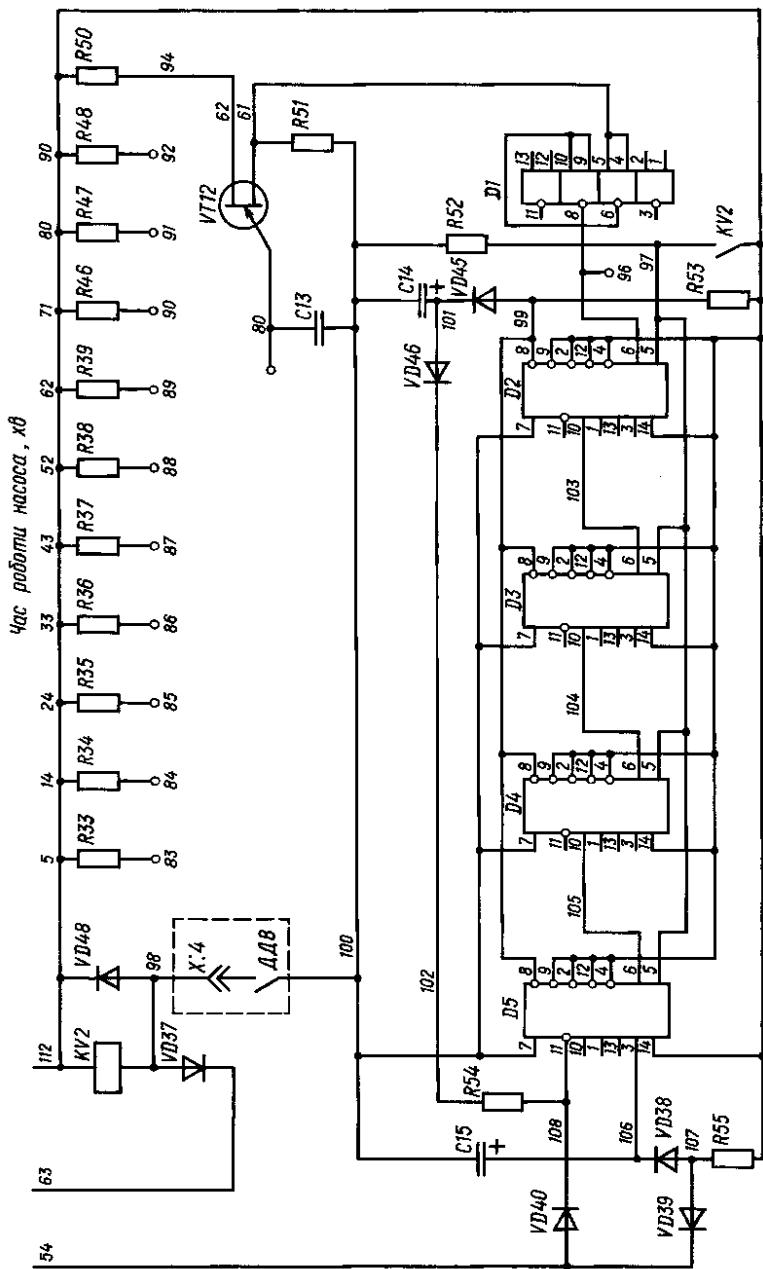


Рис. 2.12. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за тиском (станція "Каскад")

вмикається. Одночасно спрацьовує реле $KV2$, яке замикаючим контактом запускає реле часу, що зібране на цифрових мікросхемах $D2 - D5$. Після закінчення витримки часу, яка визначається параметрами одного із резисторів $R33 - R48$ та конденсатора $C13$, на виході 11 логічного елемента $D5$ з'являється сигнал логічного нуля, який через контакт $AУ$ перемикача $SA2$ надходить на базу транзистора $VT9$. Транзистор замикається і двигун насоса відключається від мережі. Повторне вмикання насоса відбувається тільки після зниження тиску води та замикання контакту $ДДВ$.

Для водопідйомних установок з водонапірною баштою, що працюють в автоматичному режимі, провадять перевірку на допустиме число вмикань електродвигуна на годину ($Z_{\text{доп}}$). Умова перевірки така:

$$Z_{\text{доп}} \geq Z_{\text{max}}, \quad (2.11)$$

де Z_{max} — фактичне найбільше число вмикань на годину при даній системі автоматизації, вмикань/год.

$$Z_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{нас}}}{4V_{\text{рег}}}, \quad (2.12)$$

де $Q_{\text{нас}}$ — продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{год}$; $V_{\text{рег}}$ — регульований об'єм башти, м^3 .

При відомому $Z_{\text{доп}}$ для даного двигуна висоту регульованого стовпа води (відстань між датчиками $КВУ$ та $КНУ$) $h_{\text{рег}}$, м, можна визначити за формулою

$$h_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{нас}}}{4Z_{\text{доп}}S_6}, \quad (2.13)$$

де S_6 — площа дзеркала води в башті, м^2 .

Четвертий принцип автоматизації застосовують для водопідйомних установок серії ВУ (рис. 2.13, а). Установка складається із заглибного (або іншого) електронасоса 7, пневмогідроакумулятора 1 об'ємом до 800 л, датчика (реле) тиску 3 та станції керування СК. Пневмогідроакумулятор являє собою герметичний бак, в який вода надходить через вхідний трубопровід 4, а подається споживачу через вихідний трубопровід 5 з вентилями. Внутрішній об'єм бака у цьому випадку поділений на дві частини, між якими встановлена гнучка мембрана 2. Таким чином, у баці є два середовища — вода

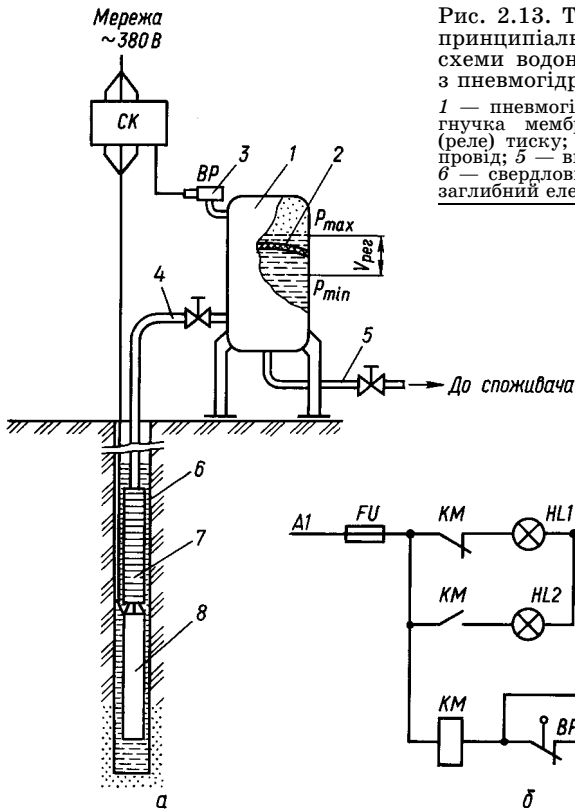


Рис. 2.13. Технологічна (а) та принципіальна електрична (б) схеми водонасосної установки з пневмогідроакумулятором:

1 — пневмогідроакумулятор; 2 — гнучка мембрана; 3 — датчик (реле) тиску; 4 — вхідний трубопровід; 5 — вихідний трубопровід; 6 — свердловина; 7 — насос; 8 — заглиблений електродвигун

та повітря, розділені між собою. Коли насос починає подавати воду в бак, вона доходить до мембрани і починає вигинати її вгору, завдяки чому повітря починає стискатися і при досягненні певного тиску спрацьовує датчик тиску *BP*, що подає команду на вимкнення насоса.

Якщо вентиль на трубі *5* відкривають і вода починає споживатися, тиск у верхній частині бака знижується і насос знову вмикається.

Схема автоматизації цієї установки (рис. 2.13, б) передбачає два режими: ручне керування (тумблер *SA*) та автоматичне (контакт датчика (реле) тиску *BP*), а також сигналізацію стану електронасоса (лампи *HL1* та *HL2*).

Настроювання реле *BP* значно впливає на кількість вмикань електронасоса на годину. Нехай у перший момент, коли води немає, об'єм бака буде V_0 , а тиск всередині — P_0 .

У другий момент вода в баці знаходиться на нижньому рівні, що відповідає моменту вмикання насоса, об'єм — V_1 , тиск — P_1 . У третій момент вода в баці досягає верхнього рівня, коли реле BP дає команду на зупинку електронасоса, об'єм — V_2 , тиск — P_2 . Тоді регульований об'єм бака $V_{\text{рег}}$ дорівнює

$$V_{\text{рег}} = V_1 - V_2. \quad (2.14)$$

Вважаючи, що кількість повітря та його температура в процесі роботи залишаються незмінними, за законом Бойля — Маріотта можна записати:

$$RT = P_0 V_0 = P_1 V_1 = P_2 V_2,$$

де R — газова стала повітря; T — температура повітря.

Визначивши значення об'ємів повітря в перший та другий моменти через об'єм котла і підставляючи їх у формулу (2.14), одержимо:

$$V_{\text{рег}} = P_0 V_0 \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right). \quad (2.15)$$

Максимальну частоту вмикання електронасоса за годину при даному $V_{\text{рег}}$ визначають за формулою (2.12).

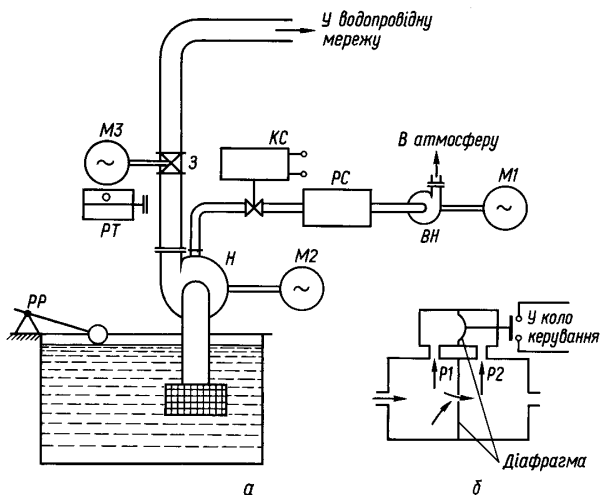


Рис. 2.14. Технологічна схема автоматизованої заливки насоса перед пуском: а — основний насос; б — струминне реле; Н — насос; ВН — вакуум-насос; КС — соленоїдний клапан; РС — струминне реле; PP — реле рівня води; PT — реле тиску; M1 — двигун привода вакуум насоса; M2 — двигун привода основного насоса; M3 — двигун привода засувки; P1, P2 — тиск в камерах відповідно до і після діафрагми

П'ятий принцип автоматизації застосовують у системах зрошення, коли кілька електронасосів працюють на один трубопровід. У цьому випадку кількість працюючих насосів визначається тиском води в системі: якщо споживання води збільшується, тиск у системі падає і вмикаються резервні насоси; коли тиск зростає через зменшення споживання води — навпаки, резервні насоси почергово вимикаються.

Для повної автоматизації за цим принципом повинна бути передбачена система автоматичної заливки водою відцентрового насоса перед пуском, що забезпечує надійне всмоктування води з джерела.

Система автоматизованої заливки (рис. 2.14, а) включає основний насос Н з двигуном М2, електрозасувку З з двигуном М3 та реле тиску РТ на вихідному трубопроводі, електромагнітний соленоїдний клапан КС на допоміжному патрубку, струминне реле РС, вакуум-насос ВН з двигуном М1 та реле рівня води в місці забору (РР).

Команда на пуск насоса надходить на двигун привода вакуум-насоса М1 та соленоїдний клапан КС. Під дією вакууму, який створює вакуум-насос, вода з джерела піднімається і заповнює корпус насоса Н. Вакуум-насос працює, доки вода не витіснить повітря зі струминного реле РС і вихідні електроконтакти не змінять свій стан під дією діафрагми.

Реле РС дає команду на закриття соленоїдного клапана КС, зупинку двигуна вакуум-насоса, вмикання головного двигуна М2.

Коли тиск на вихідному трубопроводі зросте, реле тиску подає команду на відкриття електрозасувки, і вода надходить у систему зрошення. Крайні положення засувки контролюються кінцевими вимикачами. Контролюється також рівень води у водозбірній споруді за допомогою реле рівня РР.

За шостим принципом автоматизації працюють стаціонарні зрошувальні системи, коли команди на подачу води на окремі ділянки зрошення надходять від програмного реле часу або мікропроцесора, які контролюють початок і кінець зрошення.

2.6. АВТОМАТИЧНИЙ ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОНАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Електродвигуни водонасосних установок, в яких джерелом води є артезіанська свердловина, необхідно захищати від таких аварійних режимів: короткого замикання, струмів перевантаження, неповнофазного режиму та відсутності води в свердловині (“сухого ходу”).

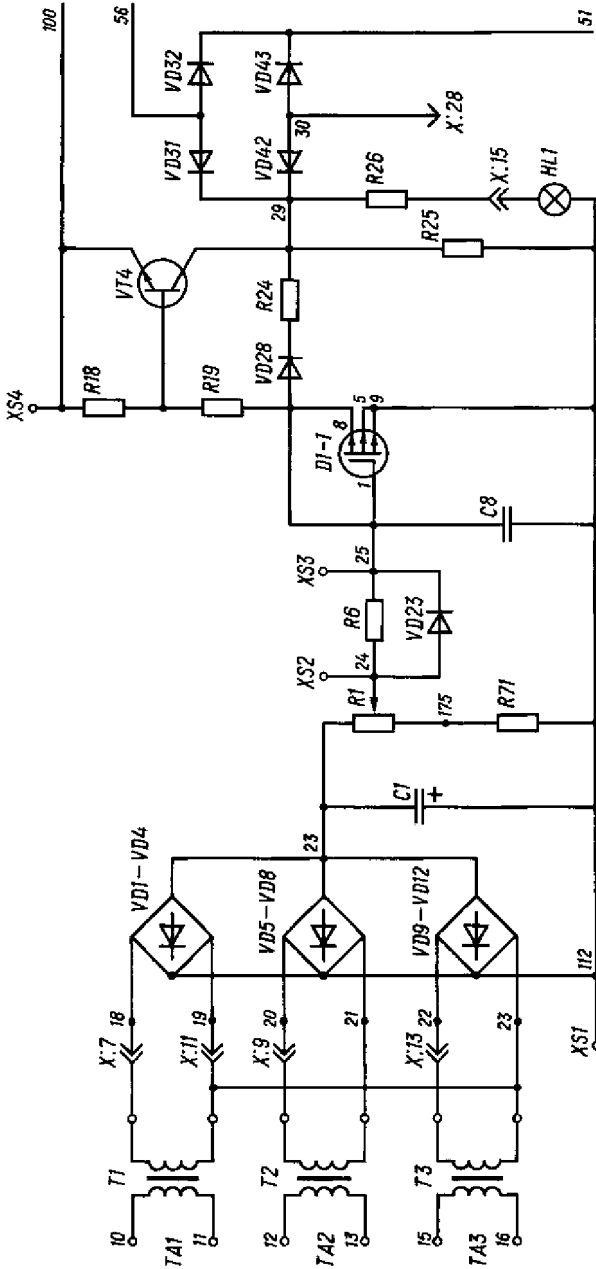


Рис. 2.15. Схема вузла захисту електродвигуна від аварійних режимів (станція "Каскад")

Від струмів короткого замикання, як правило, електродвигуни захищають автоматичними вимикачами з електромагнітними або комбінованими розчіплювачами.

У сучасних установках, в основному, застосовують принцип контролю струму статора з електронною схемою. Так, у станціях серії “Каскад” схема захисту виконана як окремих вузол (рис. 2.15).

Контроль струму навантаження двигуна здійснюється в станціях до 12 кВт безпосередньо струмовими обмотками узгоджуваних трансформаторів $T1$, $T2$, $T3$, які перетворюють струм первинної обмотки в пропорційну напругу на вторинній обмотці. Струмові обмотки ввімкнені послідовно в фазні кола двигуна. У станціях більшої потужності в розтин фаз ввімкнені трансформатори струму ($TA1$, $TA2$, $TA3$), а до вторинних обмоток цих трансформаторів під’єднані узгоджувальні трансформатори.

Напруга з вторинних обмоток $T1$, $T2$, $T3$ через випрямлячі $VD1 - VD12$, подільник напруги $R1 - R71$ та резистор $R6$ прикладається до затвора транзистора $D1-1$. Якщо струм навантаження не перевищує струму уставки вузла захисту, транзистори $D1-1$ та $VT4$ закриті. Коли струм навантаження двигуна перевищує струм уставки, напруга на затворі $D1-1$ зростає і з витримкою часу, яка визначається параметрами кола $R6 - C8$, транзистори $D1-1$ та $VT4$ відкриваються. Витримка часу необхідна для того, щоб виключити короткочасні зростання навантаження. Через відкритий транзистор $VT4$, діод $VD31$ та стабілітрон $VD34$ (див. рис. 2.11) негативний потенціал надходить на базу транзистора $VT9$, який закривається і позбавляє живлення котушку $KV1$. Замикаючий контакт реле $KV1$ розриває коло живлення котушки KM , і двигун електронасоса вимикається. Транзистори $D1-1$ та $VT4$ утримуються у відкритому стані, оскільки до затвора транзистора $D1-1$ прикладений негативний потенціал від джерела живлення, сформований ланкою $VD28 - R24 - VT4$. Таким чином, сигнал перевантаження запам’ятовується, про що сигналізує лампа $HL1$.

Після спрацювання захисту конденсатор $C8$ розряджається по колу $R71 - R1 - VD23$.

Враховуючи, що всі випрямлячі $VD1 - VD4$, $VD5 - VD8$, $VD9 - VD12$ з’єднані паралельно, система захисту реагує на збільшення струму в будь-якій фазі. Це дає змогу здійснювати одночасно захист двигуна від обриву фази в колі статора.

Величина струму неспрацювання вузла захисту регулюється резистором $R1$. При виготовленні на заводі ящик керу-

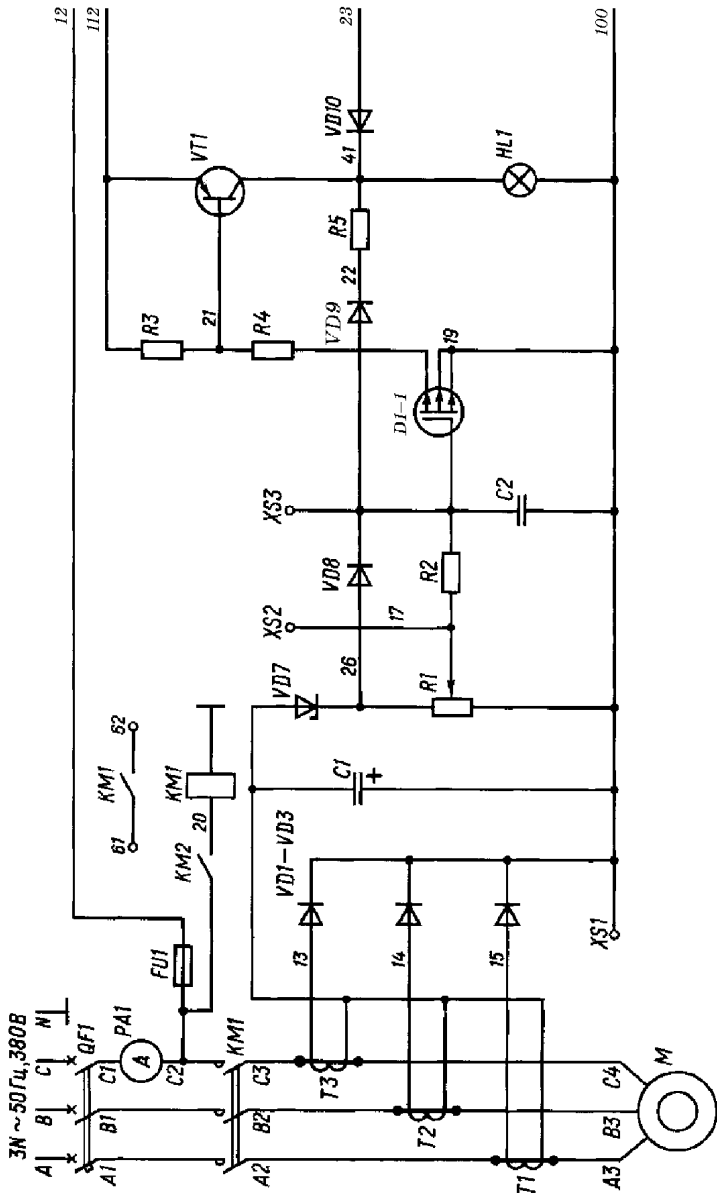


Рис. 2.16. Схема вузла захисту електродвигуна від аварійних режимів (станція ШЭП 5802)

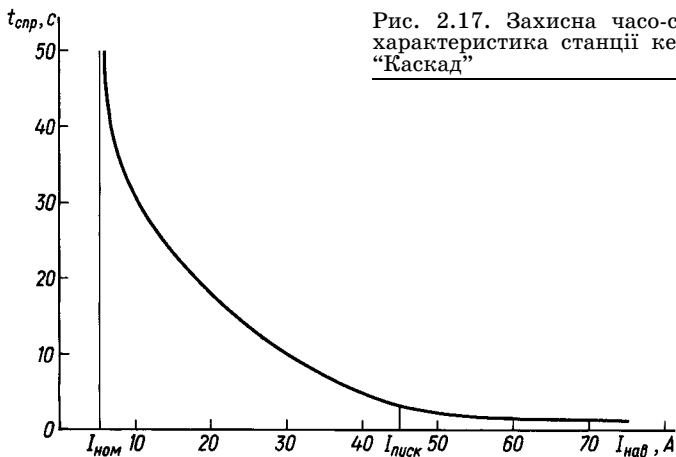


Рис. 2.17. Захисна часо-струмова характеристика станції керування “Каскад”

вання налаштується на струм конкретного двигуна. Струм налаштування вказують на паспорті ящика керування. Для регулювання струму неспрацювання в межах 25 % у схемі виведені контрольні точки $XS1$, $XS2$, $XS3$.

У станціях серії ШЭП (рис. 2.16) схема вузла захисту має деякі відмінності, виконуючи ті самі функції, що і попередньо розглянута. Аварійний сигнал надходить у логічну частину схеми від датчиків струму (узгоджуючих трансформаторів) $T1$, $T2$, $T3$. Сигнал випрямляється діодами $VD1 - VD3$ і подається на елемент порівняння $C1$, $R1$. Якщо струм двигуна перевищує заданий резистором $R1$ струм установки захисту, сигнал аварії надходить на затвор транзистора $D1-1$. Час спрацювання захисту визначається часом заряду конденсатора $C2$ до величини порогової напруги транзистора $D1-1$. Як тільки ця величина досягає певного значення, транзистор відкривається. Це призводить до відкриття транзистора $VT1$ базовим струмом, який проходить по колу емітер — база $VT1 - R3$ — “сток — исток” $D1-1$. Загоряється лампа аварії HL .

Сигнал “аварія” з колектора $VT1$ через діод $VD10$ надходить у коло керування (див. рис. 2.10), закриває транзистор $VT3$, реле KV вимикається. За допомогою ділянки $R5 - VD9$ створюється релейний ефект при відкриванні транзистора $D1-1$ і запам'ятовується сигнал аварії. Повторний автоматичний запуск двигуна неможливий. Для повторного пуску електродвигуна необхідно зняти, а потім знову подати напругу на логічну частину схеми, що здійснюється автоматичним вимикачем $QF1$.

Час спрацювання цього захисту обернено пропорційний струму перевантаження, а захисна характеристика — залежність часу спрацювання $t_{спр}$ від струму навантаження $I_{нав}$ зображена на рис. 2.17. Дані наведені для станції ШЭП 5802 з двигуном потужністю 2,8 кВт.

У станціях типу УСУЗ (рис. 2.18) захист електродвигуна від струмів перевантажень та неповнофазних режимів здійснюється за допомогою фазочутливого пристрою ФУЗ-М, принцип дії якого описаний у першій частині підручника. Схема станції передбачає контроль ізоляції обмотки статора електродвигуна в процесі експлуатації, що має особливе значення для заглибних електродвигунів.

Контроль опору ізоляції здійснюється в період, коли він від'єднаний від електромережі (KM — вимкнений, а QF — ввімкнений). При цьому від фази $C1$ через запобіжник FU , діод $VD1$, перемикач $SA3$, резистор $R3$ або $R4$, ізоляцію статорної обмотки та нуль мережі N проходить струм витікання. Якщо з будь-яких причин опір ізоляції зменшиться, то струм витікання, а отже, і напруги на резисторах $R3$ або $R4$ зростуть, і коли спад напруги досягне порогового значення,

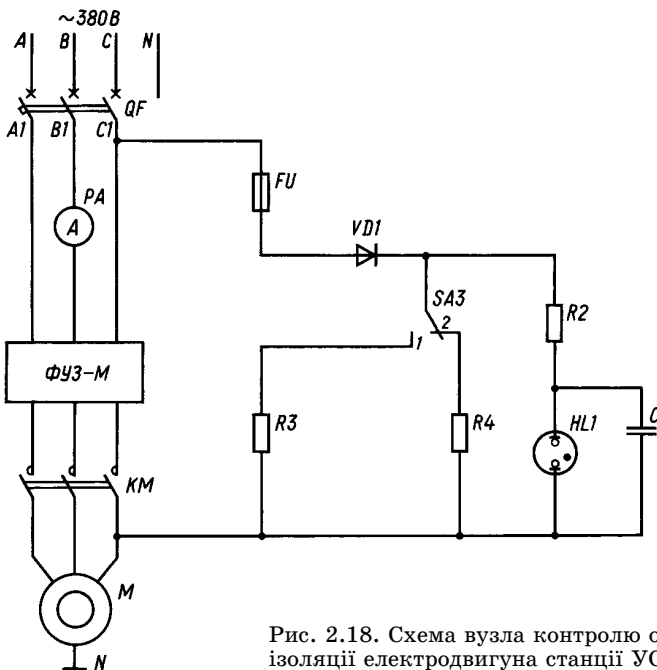


Рис. 2.18. Схема вузла контролю опору ізоляції електродвигуна станції УСУЗ

загоряється неонна лампа *HL1*. Це свідчить про зменшення опору ізоляції обмотки двигуна. Резистор *R3* підібрано так, щоб лампа *HL1* загорялась при опорі ізоляції близько 400 кОм, а опір резистора *R4* є таким, щоб загоряння лампи відбувалось при опорі ізоляції близько 40 кОм.

На початку експлуатації двигуна перемикач *SA3* ставлять у положення 1, де залучений резистор *R3*. Коли через деякий час лампа *HL1* загориться, що свідчить про зниження опору ізоляції, перемикач *SA3* переводять у положення 2 (під'єднується резистор *R4*) і продовжують експлуатацію двигуна. Якщо опір ізоляції ще знизиться і лампа *HL1* загориться знову, електродвигун треба відправити на ремонт.

Необхідність захисту заглибних електродвигунів від “сухого ходу” обґрунтовується конструкцією цих двигунів, оскільки система охолодження потребує постійного омивання поверхні двигуна водою. Цей захист встановлюють тільки для двигунів потужністю понад 4,5 кВт, бо вірогідність, що дебіт свердловини буде меншим продуктивності електронасоса з двигуном 4,5 – 11 кВт дуже невелика. Для здійснення цього захисту разом з двигуном у свердловину опускають датчик “сухого ходу” ДСХ (див. рис. 2.8, 4), який конструктивно не відрізняється від КВУ чи КНУ.

Коли рівень води в свердловині знижується більше допустимого і датчик ДСХ виходить з води, у схему надходить сигнал на негайну зупинку електронасоса, загоряється лампа аварії “сухий хід”. Схема запам'ятовує аварію і, коли рівень води в свердловині знову зростає і датчик ДСХ замкнеться водою, електронасос не запуститься.

2.7. КОМПЛЕКТНІ ПРИСТРОЇ КЕРУВАННЯ ВОДОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ

Установки водопостачання об'єктів сільськогосподарського виробництва, як правило, надходять у вигляді комплектів обладнання: електронасос, станція керування, датчики, спеціальні проводи тощо.

Так, *комплектний пристрій “Каскад”* залежно від типу ящика керування виконує такі функції:

- автоматичний пуск і зупинку електронасоса водопідйому (В) та дренажу (Д) залежно від рівня води відповідно у водонапірному баці або дренажній свердловині;
- автоматичний пуск електронасоса в режимі водопідйому залежно від тиску стовпа води у водонапірній башті та автоматичну зупинку насоса в цьому режимі протягом часу, що заданий оператором (від 5 до 90 хв);

- місцевий пуск і зупинку електронасоса незалежно від рівня води в башті або тиску (SA2 — у положенні МУ);

- дистанційний пуск і зупинку електронасоса (SA2 — у положенні ДУ). Попередньо станція комплектується двома реле — РІО (реле виконання вимикання) та РІВ (реле виконання вмикання);

- селективність запуску електронасоса з регульованою витримкою часу (2 – 30 с) місцевого та автоматичного керування за рівнем води;

- захист електродвигуна від перевантажень, коротких замикань та неповнофазних режимів;

- захист електродвигуна від “сухого ходу” за час не більше 0,5 с для пристроїв керування двигунами потужністю 4,5 кВт і вище;

- запам’ятовування аварії, тобто неможливість самовмикання після спрацювання будь-якого виду захисту;

- світлову сигналізацію з розшифруванням аварійної зупинки від перевантаження та “сухого ходу”;

- контроль струму завантаження електродвигуна (амперметр в одній з фаз);

- подачу аварійного сигналу за межі пристрою;

- самозапуск електронасоса при короткочасному зникненні і відновленні напруги мережі у межах 2 – 30 с.

На функціональній схемі пристрою (рис. 2.19) основні блоки позначені: ЯП — чарунка живлення; ЯЗ — чарунка захисту; ЯУУ — чарунка керування за рівнем води; ЯУД — чарунка керування за тиском; ВУ–ЯЗ — вихідний пристрій чарунки захисту; ДДВ — датчик тиску води; ДСХ — датчик “сухого ходу”.

Вибір режимів керування насосною установкою здійснюється перемикачем SA2, який має чотири положення: АУ — автоматичне керування, ДУ — дистанційне керування, МУ — місцеве (ручне) керування з двома позиціями “Ввімк.” та “Вимк.” Режим водопідйому та дренажу в окремих станціях вибирається тумблером або відповідними перемичками В та Д.

Всі функції керування, сигналізації та захисту в цих пристроях виконує блок керування БОН 9200. Пристрої “Каскад” керують електронасосними агрегатами потужністю від 1 до 65 кВт.

Система автоматичного керування насосними агрегатами (САУНА) призначена для керування свердловинними відцентровими насосами з заглибними електродвигунами потужність 1 – 11 кВт. Вона поєднує 8 типорозмірів станцій керування типу ШЭП 5802.

Схема станції керування забезпечує вибір режиму керування (перемикач SA1) (див. рис. 2.9, 2.16): автоматичний, місцевий, дистанційний. Перемикання системи керування з режиму водопідйому в режим дренажу здійснюється перемикачем SA2.

Функції, які виконує станція керування:

- місцевий (ручний) пуск та зупинку електронасоса;
- дистанційне керування електронасосом, додатковими реле РИО та РИВ;
- автоматичне керування в режимі водопідйому залежно від рівня води в башті (датчики КВУ та КНУ);
- автоматичне керування в режимі дренажу залежно від рівня води в дренажній свердловині;
- захист електродвигуна від струмів коротких замикань, струмів перевантаження та неповнофазних режимів;
- сигналізація аварії (“Перевантаження” лампа HL1);
- контроль струму завантаження електродвигуна (амперметр).

Всі елементи схеми керування та захисту змонтовані на змінній друкованій платі.

Універсальна станція керування та захисту (УСУЗ) призначена для захисту та автоматичного керування заглибними електродвигунами потужністю до 11 кВт включно.

Схемою станції передбачена її робота з електродними датчиками рівня води, реле тиску та електроконтактним манометром. Забезпечується захист електродвигуна від струмів коротких замикань, перевантаження, неповнофазних режимів; зниження рівня води в свердловині (“сухий хід”). Крім того, передбачена світлова сигналізація про надмірне зниження опору ізоляції обмотки статора двигуна.

До складу станції входять такі функціональні блоки: фазочутливий пристрій захисту ФУЗ-М, двопозиційний регулятор УДР-2, який складається з блока живлення, логічного елемента “АБО” та вузла керування, блок контролю опору ізоляції. До одного входу двопозиційного регулятора може бути приєднаний один з приладів: електродний датчик рівня води, реле тиску, електроконтактний манометр, а до іншого — датчик “сухого ходу”.

Станція може працювати в таких режимах: автоматичний; ручний короткочасний, коли не діє захист від аварійних режимів, крім захисту від коротких замикань; ручний тривалий, коли діють усі види захисту від аварійних режимів.

Установки з пневмогідроаккумуляторами серії ВУ (див. рис. 2.13) випускаються в комплекті з ящиком керування і при-

значені для автоматизації водопостачання невеликих тваринницьких ферм із добовими витратами 40 – 70 м³/добу. Установка може працювати як при заборі води з водоймищ чи колодязів, так і з заглибними електронасосами з двигунами потужністю 2,8 – 5,5 кВт.

Ящик керування має просту схему і виконує такі функції:

- ручне керування електронасосом;
- автоматичне керування електронасосом у функції тиску повітря в пневморегуляторі (реле тиску ВР);
- сигналізація стану насоса (ввімкнено, вимкнено);
- захист електродвигуна від струмів короткого замикання та перевантаження (автоматичний вимикач);
- контроль завантаження електродвигуна (амперметр);
- захист кіл керування від струмів короткого замикання (запобіжник *FU*).

Комплектний пристрій, призначений для плавного пуску, автоматичного та місцевого керування заглибними електронасосами водопідйому з двигунами потужністю 2,8 – 11 кВт типу КУШПН, забезпечує плавний пуск заглибного електродвигуна до номінальних обертів протягом 50 – 70 с. Пристрій плавного пуску виконаний на тиристорах і працює за принципом зміни напруги на затискачах електродвигуна в період пуску. Це дає такі переваги: зменшення динамічних зусиль на вузол, що з'єднує двигун і насос; значне зменшення потрапляння бруду із зовнішньої поверхні фільтра всередину агрегату (внаслідок зменшення прискорення водяного потоку); збільшення строку служби агрегату. Станція керування захищає електродвигун від усіх аварійних режимів.

2.8. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД В УСТАНОВКАХ ЗРОШЕННЯ

Особливістю схем автоматизації насосних станцій зрошення є те, що, крім захисту електродвигуна від аварійних режимів і сигналізації, вони повинні передбачати попереднє заливання насоса водою перед пуском, керування засувками на вході та виході насоса, контроль тиску води в системі, попередження гідравлічного удару, контроль рівня у водозабірній споруді, вимірювання витрат води, керування рибоохоронними пристроями та ін.

На насосних станціях з асинхронними та синхронними двигунами великої потужності, крім того, має бути передбачений один з видів автоматичного запуску двигуна: за функцією часу, силою струму, частотою струму, з введенням в коло ротора додаткових опорів або реакторів, автотрансформаторний пуск та ін.

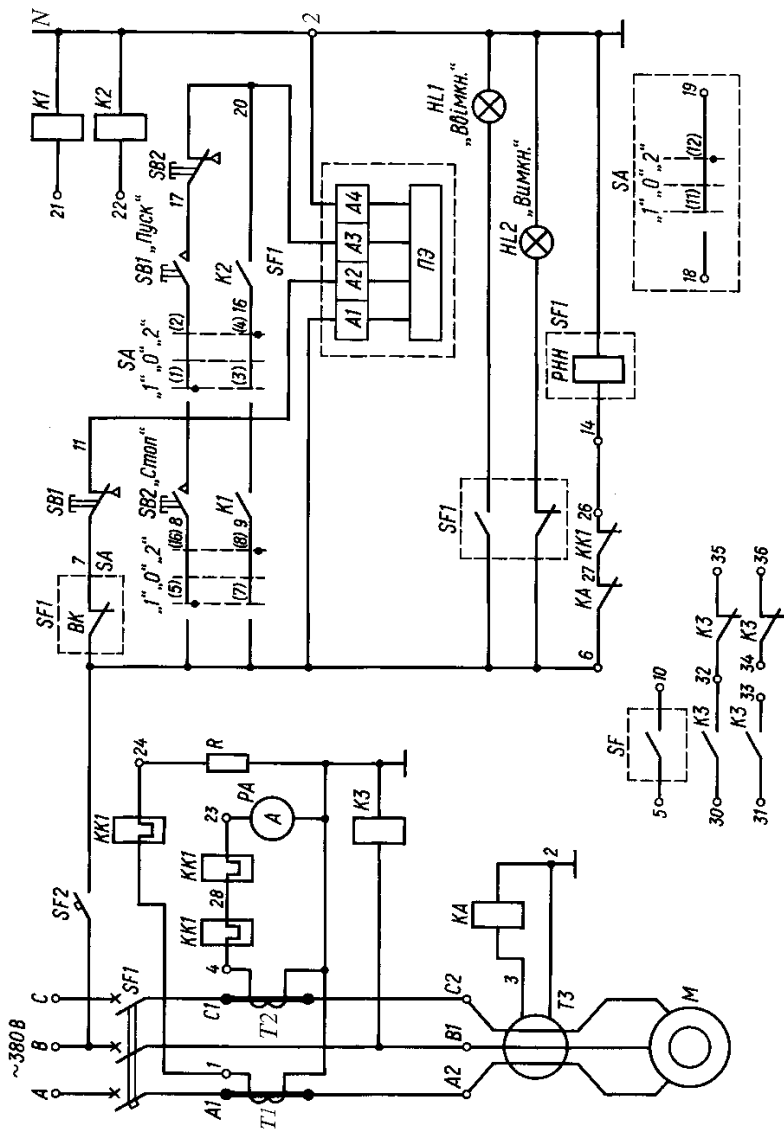


Рис. 2.20. Принципіальна електрична схема ящика керування зрозумівальною насосною установкою з електродвигунами потужністю 40 – 250 кВт

Для керування насосними меліоративними установками випускаються комплектні пристрої серії УКМ, призначені для автоматичного керування електроприводами насосних агрегатів зрошувальних, осушувальних та перекачувальних насосних станцій, а також для їх захисту та сигналізації.

Залежно від типу пристрій УКМ може керувати основними насосними агрегатами з асинхронними двигунами низької напруги, асинхронними та синхронними електродвигунами високої напруги, а також механізмами для власних потреб насосних станцій (засувки, вакуум-насоси, вентилятори). Схема керування насосним агрегатом середньої потужності від 40 до 250 кВт при напрузі 380 В наведена на рис. 2.20. На схемі не зображені пристрої, які розміщені в ящику технологічних захистів, а позначені лише точки, до яких вони під'єднуються, з адресним маркуванням.

Режим роботи вибирають перемикачем *SA* (місцевий, вимкнено, автоматичний). В автоматичному режимі керування виконується програмним пристроєм ПЭ. Пуск передбачений при закритій засувці на напірному трубопроводі, для чого в схему введені контакти ВК привода засувки. Наявність напруги контролюється реле РНН. Захист електродвигуна від коротких замикань здійснюється автоматичним вимикачем з електромагнітним приводом *SF1*; від перевантажень — тепловими реле *KK1*, ввімкненими через трансформатори струму *T1*, *T2*, від однофазних замикань на землю — реле *КА*. Передбачений візуальний контроль струму електродвигуна (*РА*) та контроль режиму пуску реле *КЗ*.

Майже всі пристрої технологічних захистів — від “сухого ходу” насоса (відсутність змащування), засмічення рибозагороджувача, аварійного зниження рівня води в нижньому б'єфі — діють на загальні реле захисту.

Керування електроприводом засувки (рис. 2.21) може здійснюватися у режимі місцевого керування (перемикач *SA* у положенні “1”) та автоматичного (положення “2”). При місцевому керуванні залучені кнопки; *SB3* — відкрити, *SB4* — закрити, *SB1* — загальна зупинка, *SB2* — режим деблокування. Крайні положення засувки контролюються кінцевими вимикачами *КВО* та *КВЗ*, про що сигналізують лампи *HL1* та *HL2*.

При заклинюванні засувки в процесі відкриття двигун відключається контактом *ВМО* (вимикач муфти обмеження моменту), а в процесі закриття — контактом *ВМЗ*. У цій схемі застосована двостороння муфта обмеження моменту. Є схеми, де контролюється тільки момент закриття засувки. Коли відбувається заклинювання засувки при закритті чи відкритті, спрацьовує реле *К2*, яке стає на саможивлення

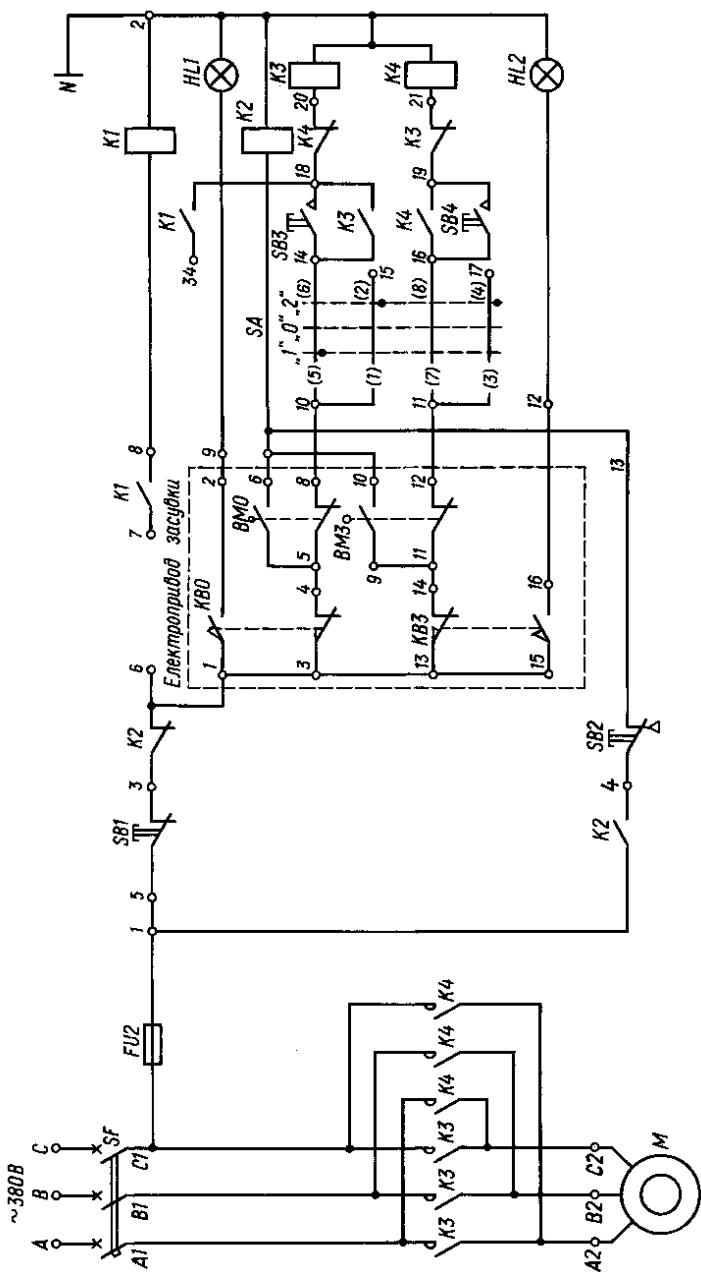


Рис. 2.21. Принципіальна електрична схема керування електроприводом засувки з двосторонньою муфтою

замикаючим контактом К2 (точки 1 – 4) та розриває всі кола керування розмикаючим контактом К2 (точки 3 – 6), схема набуває заблокованого положення. Щоб повторно ввести схему в дію після налагодження, натискають кнопку SB2 — деблокування.

3. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

Вентиляція — це регулювання повітрообміну в приміщенні з метою створення нормованих параметрів мікроклімату (температури, вологості, газового складу повітря, запиленості та швидкості руху повітря).

У виробничих приміщеннях сільськогосподарських підприємств, як правило, нормовані значення температури та вологості, а в тваринницьких приміщеннях — ще і швидкість руху повітря. Вентиляція приміщень здійснюється припливними і витяжними вентиляційними системами.

Вентиляційні установки бувають з природною тягою, механічним спонукачем тяги та комбіновані. Застосовуються припливні і витяжні механічні системи вентиляції. Припливні системи з механічним спонуканням тяги у деяких випадках мають підігрів повітря за рахунок водяних, парових та електричних калориферів або використовують припливно-витяжні установки серії ПВУ.

Швидкість руху повітря v , м/с, у витяжних каналах вентиляційної системи з природною тягою визначається залежністю

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{H(Q_{\text{вн}} - Q_{\text{зов}})}{273}}, \quad (3.1)$$

де H — висота витяжних каналів, м; $Q_{\text{вн}}$ — температура повітря в приміщенні, °С; $Q_{\text{зов}}$ — температура зовнішнього повітря, °С; 273 — коефіцієнт об'ємного розширення повітря.

Швидкість руху повітря припливної системи вентиляції з природною тягою залежить від швидкості напору вітру.

Як видно з (3.1), при рівності температур повітря в приміщенні і зовнішнього витяжна система з природною тягою не діє. Це може мати місце в теплий період року, коли вентиляція тваринницьких та птахівницьких приміщень найбільш необхідна. Тому ці приміщення, як правило, обладнують вентиляційними системами з механічним спонукачем тяги.

3.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕНТИЛЯТОРІВ

Вентилятором називають гідравлічну машину, призначену для перемішування чи переміщення під певним тиском повітря або його сумішей з дрібними частинками за допомогою робочого органа вентилятора у вигляді лопаток. Вентилятори поділяють на радіальні (відцентрові) та осьові.

Основними елементами аеродинамічної схеми радіальних вентиляторів є: вхідний патрубок, робоче колесо і спіральний корпус (рис. 3.1).

Через вхідний патрубок, який має різну конфігурацію (рис. 3.2), підводиться повітря до робочого колеса.

Робоче колесо здійснює передачу енергії від електродвигуна повітрю, яке переміщується. Робоче колесо, як правило, має передній і задній диски, між якими закріплені лопатки. Основним розміром робочого колеса є діаметр, заміряний по кінцях лопаток. Допускаються модифікації вентиляторів з діаметрами, що відрізняються від стандартних на величину $\pm 10\%$ (через 5%) за рахунок переміщення лопаток до осі обертання або зменшення їх розмірів. При цьому решта розмірів проточної частини вентилятора залишається незмінними. Це дає можливість одним і тим самим номером вентилятора забезпечити різні подачу і тиск. Так, для радіального вентилятора ВЦ4-75 № 4 при $D/D_{\text{ном}} = 1$ номінальна подача при частоті обертання 1410 об/хв дорівнює 2,9 тис. $\text{м}^3/\text{год}$, а тиск — 409 Па. При співвідношенні діаметрів 0,9 та 1,1 згадані параметри відповідно мають значення: 2,34 тис. $\text{м}^3/\text{год}$ і 309 Па та 2,93 тис. $\text{м}^3/\text{год}$ та 630 Па.

Номеру вентилятора відповідає номінальний діаметр робочого колеса, виражений у дециметрах. Державним стандартом рекомендуються такі номери вентиляторів: 1; 1,25; 1,6; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50.

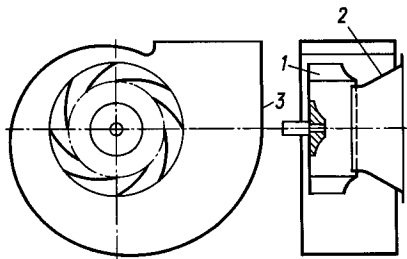


Рис. 3.1. Аеродинамічна схема радіального вентилятора:

1 — робоче колесо; 2 — вхідний патрубок; 3 — спіральний корпус

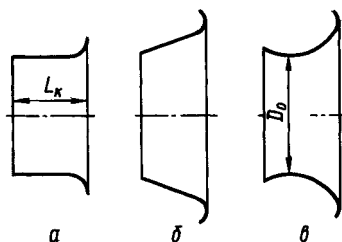


Рис. 3.2. Конфігурації вхідних патрубків:

а — циліндричний; б — конічний; в — тороїдальний

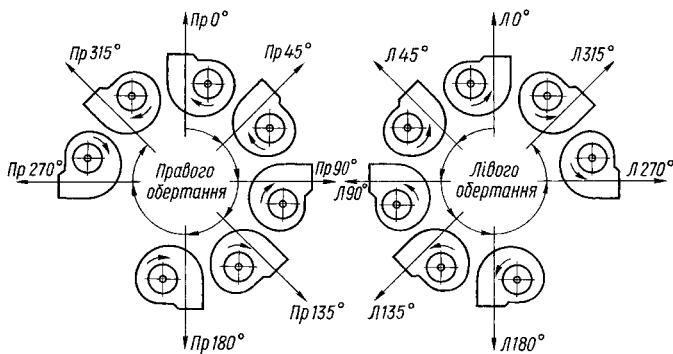


Рис. 3.3. Варіанти встановлення корпусів радіальних вентиляторів

Спіральний корпус радіального вентилятора призначений для відведення потоку повітря в певному напрямку, а також для часткового перетворення динамічного тиску повітряного потоку в статичний. Радіальні вентилятори можуть бути правого і лівого обертання. Якщо робоче колесо обертається правильно, за годинниковою стрілкою, вентилятор називають правим, а проти годинникової стрілки — лівим. Правильним обертанням робочого колеса є напрямок за ходом розвороту спірального корпуса. Якщо вентилятор обертається неправильно, то його подача різко зменшується, а напрямок потоку повітря залишається незмінним. Отже, радіальні вентилятори — нереверсивні.

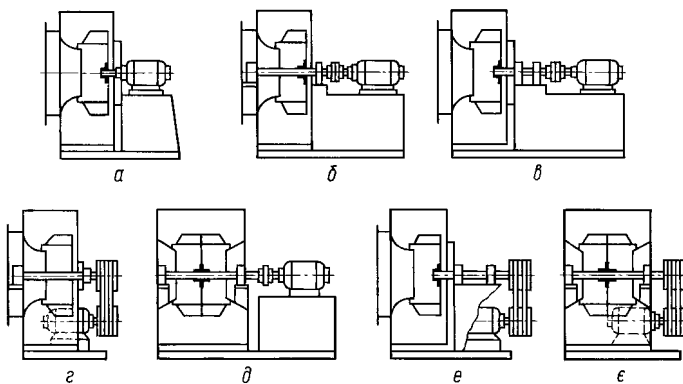


Рис. 3.4. Способи з'єднання радіальних вентиляторів з електродвигунами: а — безпосередньо; б, в, д — через проміжний вал; г, е, е — через пасову передачу

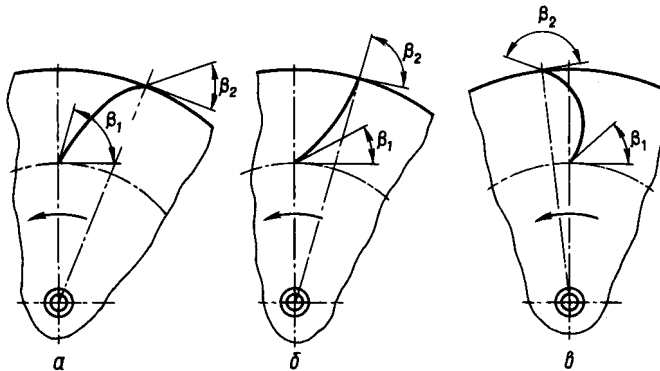


Рис. 3.5. Форми лопаток радіальних вентиляторів:

a — лопатки, загнуті назад ($\beta_2 < 90^\circ$); *б* — лопатки, що закінчуються радіально ($\beta_2 = 90^\circ$); *в* — лопатки, загнуті вперед ($\beta_2 > 90^\circ$)

Вентилятори номерів від 2 до 6,3 включно виготовляються з поворотними корпусами, що дозволяє встановлювати їх в положення, зображені на рис. 3.3, а номерів більше 6,3 — з поворотними і неповоротними корпусами.

Способи з'єднання радіальних (відцентрових) вентиляторів з електродвигунами наведені на рис. 3.4. Безпосереднє насадження робочого колеса на вал двигуна допускається лише для малих вентиляторів (до номера 6,3 включно).

Залежно від форми лопаток (рис. 3.5) радіальні вентилятори бувають з лопатками: загнутими назад ($\beta_2 < 90$ град), що закінчуються радіально ($\beta_2 = 90$ град) та загнутими вперед ($\beta_2 > 90$ град). Вентилятори з лопатками, загнутими назад, мають криву тиску, що швидко падає при збільшенні подачі. Тому при зміні гідравлічного опору повітропроводів подача вентилятора змінюється в незначних межах. Споживана потужність цих вентиляторів при зміні подачі в робочій зоні змінюється також незначно. Вентилятори з лопатками, загнутими назад, мають порівняно менший динамічний напір і, як наслідок, менший шум. Вони найбільш економічні. Коефіцієнт корисної дії вентиляторів з лопатками, загнутими назад, становить 0,77 – 0,85, їх використовують у системах припливної вентиляції тваринницьких приміщень. Вентилятори з лопатками, загнутими вперед, мають нестійку характеристику тиску, потужність зростає при збільшенні подачі, що може призвести до перевантаження двигуна (рис. 3.6). Вентилятори з лопатками, що закінчуються радіально,

мають характеристики, проміжні між вентиляторами з лопатками, загнутими назад і вперед.

Радіальні вентилятори призначені для переміщення повітря з механічними домішками (тирса, стружка, полова тощо), вони мають робоче колесо з шістьма довгими, загнутими вперед лопатками (рис. 3.7). Така конструкція робочого колеса практично виключає засмічення вентилятора механічними домішками. Вентилятори мають характеристику тиску, що падає, і криву потужності, що зростає. Розвивають тиск до 2000 – 2500 Па, тобто середній тиск (низький тиск — до 981 Па, високий — до 11 772 Па). Їх використовують також для переміщення чистого повітря.

Осьовий вентилятор складається з циліндричного корпусу, в якому розміщене лопаточне робоче колесо пропелерного типу (рис. 3.8). Характерною особливістю осьових вентиляторів є реверсування повітряного потоку при зміні напрямку обертання привідного двигуна. Реверсивні вентилятори мають симетричний профіль лопаток. Це забезпечує однакові енергетичні показники вентиляційної установки при різних напрямках обертання. Осьові вентилятори створюють невеликий статичний тиск (30 – 300 Па). Вони широко використовуються у витяжних вентиляційних системах тваринницьких і птахівницьких приміщень. При збільшенні подачі за рахунок зміни гідравлічних опорів споживана потужність осьовим вентилятором зменшується (див. рис. 3.6, крива 3). Для деяких осьових вентиляторів зміна подачі не призводить до зміни споживаної двигуном потужності.

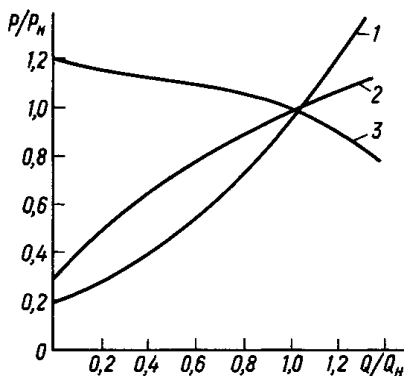


Рис. 3.6. Залежність споживаної потужності вентиляторів від подачі:

1 — радіальний з лопатками, загнутими вперед; 2 — радіальний з лопатками, загнутими назад; 3 — осьовий

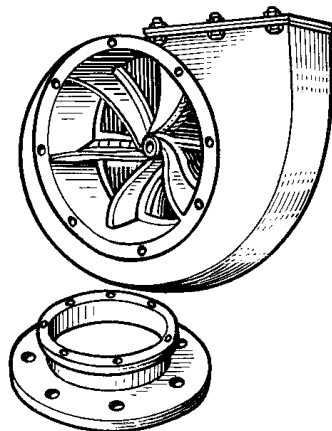


Рис. 3.7. Радіальний пиловий вентилятор

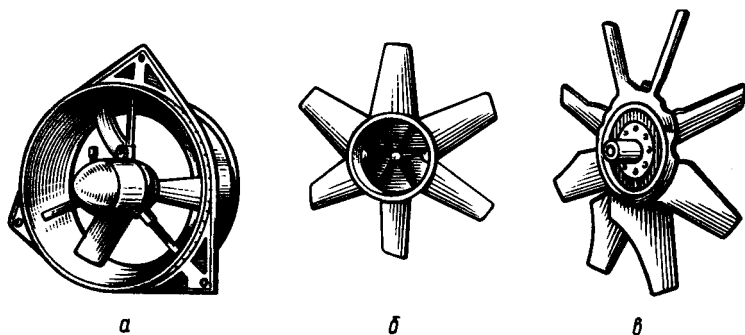


Рис. 3.8. Осьовий вентилятор (а) та конструкція осьового зварного лопаточного (б) і штампованого колеса (в)

Радіальні та осьові вентилятори оцінюються аеродинамічними характеристиками. Це сукупність кривих, які визначають залежність повного і статичного тиску, що створюються вентилятором, споживаної ним потужності та повного і статичного коефіцієнтів корисної дії від продуктивності (рис. 3.9). Ці характеристики наводяться в довідковій літературі для кожного номера вентилятора.

Режим роботи вентилятора, що відповідає максимальному значенню повного коефіцієнта корисної дії, називають *номінальним*. Вірогідність роботи вентилятора в номінальному режимі досить мала. Частіше вентилятор працює з дещо більшою або меншою продуктивністю відносно номінального значення. Робочою ділянкою для характеристики вентилятора, що працює з приєднаним повітропроводом, вважають

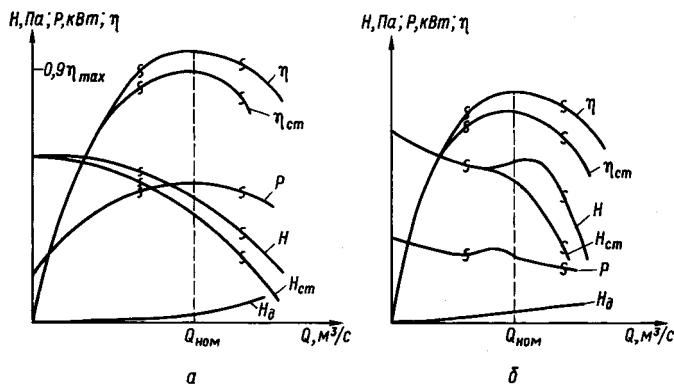


Рис. 3.9. Аеродинамічні характеристики вентиляторів: а — радіального з лопатками, загнутими назад; б — осьового

ту частину, на якій повний коефіцієнт корисної дії становить не менш як 0,9 максимального значення ККД (на рис. 3.9 ця ділянка виділена хвилястими лініями).

Для порівняння вентиляторів різних типів користуються параметром швидкохідності n_y , який визначається із залежності

$$n_y = nQ^{1/2}H^{-3/4}, \quad (3.2)$$

де n — частота обертання лопаточного колеса, об/хв; Q — продуктивність вентилятора, м³/с; H — повний тиск вентилятора, Па.

У радіальних вентиляторів критерій швидкохідності більший при порівняно невеликому діаметрі входу і великій кількості лопаток, а в осьових вентиляторів — при меншому діаметрі втулки і меншому числі лопаток (рис. 3.10).

Радіальні вентилятори з лопатками, загнутими назад, мають критерій швидкохідності в межах 50 – 80, а осьові — 120 – 400.

Радіальні та осьові вентилятори характеризуються також коефіцієнтом повного тиску ψ , який визначають за виразом

$$\psi = \frac{2H}{\rho u^2}, \quad (3.3)$$

де H — повний тиск вентилятора при номінальному режимі, Па; ρ — густина повітря, кг/м³; u — колова швидкість робочого колеса, м/с.

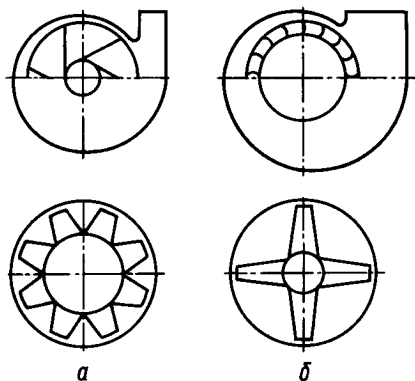


Рис. 3.10. Конструкції вентиляторів різної швидкохідності: а — малої; б — великої

Швидкохідність n_y і заокруглене п'ятикратне значення коефіцієнта повного тиску ψ вказуються в позначенні типу вентиляторів. Так, для радіального вентилятора з номером 6,3, коефіцієнтом повного тиску 0,86 і швидкохідністю 75 його тип записується так: В-Ц4-75-6,3. Для осьового вентилятора з коефіцієнтом повного тиску 0,12, швидкохідністю 300 і номером 6,3 тип позначається В-06-300-6,3.

3.2. РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

У виробничих приміщеннях, де утримуються тварини або птиця, у повітрі містяться надлишкові вуглекислий газ, волога, тепло. В овочесховищах виділяється також надлишкова волога і тепло внаслідок біологічних процесів.

Кількість шкідливих домішок у повітрі приміщення є вихідною величиною при визначенні подачі свіжого повітря вентиляційною системою. Залежно від виду шкідливих домішок розрізняють повітрообмін по видаленню надлишкових вуглекислого газу, вологи, тепла.

Обмін повітря по видаленню надлишкового вуглекислого газу $L_{в.г}$, м³/год, визначається залежністю

$$L_{в.г} = \frac{1,2A_T n_T}{k_B - k_a}, \quad (3.4)$$

де 1,2 — коефіцієнт, який враховує виділення вуглекислого газу мікроорганізмами, підстилкою тощо; A_T — кількість вуглекислого газу, що виділяється однією твариною, м³/год; n_T — кількість тварин у приміщенні, голів; k_B — допустима концентрація вуглекислого газу в повітрі тваринницького приміщення за об'ємом у відносних одиницях, $k_B = 0,002 - 0,0025$; k_a — концентрація вуглекислого газу в припливному атмосферному повітрі, $k_a = 0,0003$.

Обмін повітря по видаленню надлишкової вологи L_B , м³/год, визначають за виразом

$$L_B = \frac{1,1W_T n}{W_{д.п} - W_з}, \quad (3.5)$$

де 1,1 — коефіцієнт, що враховує випаровування вологи з підлоги; W_T — кількість водяної пари, що виділяється однією твариною або птицею, г/год; n — кількість тварин або птиці в приміщенні, голів; $W_{д.п}$ — допустимий вміст водяної пари в приміщенні, де утримуються тварини або птиця, г/м³; $W_з$ — вміст водяної пари в атмосферному повітрі, г/м³.

Параметри $W_{д.п}$ та $W_з$ визначають залежностями:

$$W_{д.п} = W_{нас.п} \frac{\varphi_{п}}{100}; \quad (3.6)$$

$$W_3 = W_{\text{нас.з}} \frac{\varphi_3}{100}, \quad (3.7)$$

де $W_{\text{нас.п}}$, $W_{\text{нас.з}}$ — вміст водяної пари при повному її насиченні відповідно при оптимальній температурі в приміщенні та при розрахунковій температурі зовнішнього повітря, г/м³; $\varphi_{\text{п}}$, φ_3 — відповідно відносна вологість повітря в приміщенні та зовнішнього повітря, % (наводиться в довідковій літературі).

Для визначення повітрообміну в приміщенні по видаленню надлишкової теплоти, $L_{\text{т}}$, м³/год, користуються залежністю

$$L_{\text{т}} = \frac{(Q_{\text{т}}n - Q_{\text{ог}})(1 + \alpha Q_{\text{п}})}{C_V(\theta_{\text{п}} - \theta_3)}, \quad (3.8)$$

де $Q_{\text{т}}$ — кількість вільного тепла, що виділяється однією твариною чи птицею, кДж/год; n — кількість тварин чи птиць в приміщенні, голів; $Q_{\text{ог}}$ — втрати теплоти через зовнішні огорожі (стіни, вікна, стелю тощо), кДж/год; α — температурний коефіцієнт розширення повітря, 1/°C, $\alpha = 1/273^\circ\text{C}^{-1}$; C_V — питома об'ємна теплоємність повітря при температурі 0 °C і барометричному тиску 760 мм рт. ст., кДж/м³; $C_V = 1,283$; $\theta_{\text{п}}$, θ_3 — відповідно температура повітря в приміщенні і зовнішнього, °C.

Втрати теплоти Q наближено можна визначити за залежністю

$$Q_{\text{ог}} = Vq_0(\theta_{\text{п}} - \theta_3), \quad (3.9)$$

де V — об'єм приміщення за зовнішніми розмірами, м³; q_0 — теплова характеристика приміщення, кДж/м³·°C·год. Для утеплених тваринницьких приміщень $q_0 = 2,1 - 2,9$, для неутеплених $q_0 = 2,9 - 5,1$ кДж/м³·°C·год.

Після розрахунків обміну повітря по видаленню надлишкових вуглекислого газу, вологи та теплоти визначають годинну кратність обміну повітря K за найбільшим значенням обміну повітря за виразом

$$K = \frac{L_{\text{р.макс}}}{V}, \quad (3.10)$$

де $L_{\text{р.макс}}$ — розрахункова максимальна подача повітря, м³/год; V — об'єм приміщення, м³.

Якщо кратність обміну повітря не більше 3, то приймають вентиляційну систему з природною тягою, а якщо більше 3 — з механічним спонукачем.

Для кожного виду тварин і птиці нормами технологічного проектування передбачено мінімальну кількість свіжого повітря на одну тварину або на 1 кг живої маси птиці, за якою визначають мінімально допустиму кратність обміну повітря за годину:

$$K_{\min} = \frac{L_{\min}}{V}. \quad (3.11)$$

Вираз (3.10) не повинен бути меншим за вираз (3.11).

Якщо припливна вентиляція здійснюється через один повітропровід круглого перерізу, то його діаметр D , м, визначають за формулою

$$D = 2\sqrt{\frac{L_{p.\max}}{\pi v}}, \quad (3.12)$$

де v — швидкість руху повітря в повітропроводі, м/с, $v = 5 - 10$ м/с.

При виборі вентилятора, крім його подачі, необхідно знати повний напір H , який визначають за виразом

$$H = H_{\text{ст}} + H_{\text{дин}}, \quad (3.13)$$

де $H_{\text{ст}}$ — статичний напір, Па; $H_{\text{дин}}$ — динамічний напір, Па.

У більшості випадків радіальні вентилятори працюють з приєднаним повітропроводом, в якому мають місце гідравлічні втрати тиску за рахунок тертя, та місцеві втрати тиску, зумовлені зміною конфігурації повітропроводу.

Втрати тиску на тертя ΔH_{T} визначають за залежністю

$$\Delta H_{\text{T}} = \lambda \frac{l}{D_{\text{T}}} \rho \frac{v^2}{2}, \quad (3.14)$$

де λ — коефіцієнт втрат на тертя; l — довжина прямої ділянки повітропроводу, м; D_{T} — гідравлічний діаметр повітропроводу, м; ρ — густина повітря, кг/м³; v — швидкість руху повітря, м/с.

Коефіцієнт втрат на тертя λ залежить від числа Рейнольдса Re та відносної шорсткості Δ повітропроводу. Число Рейнольдса визначають за формулою

$$Re = vD_{\text{T}} / \nu,$$

де ν — кінематична в'язкість повітря. При температурі повітря + 20 °C кінематична в'язкість повітря дорівнює $1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с.

Відносна шорсткість — це відношення її абсолютного значення до гідравлічного діаметра. Абсолютна шорсткість повітропроводу з нової прооліфеної сталі становить 0,10 – 0,15 мм, оцинкованих сталевих труб — 0,10 – 0,15, оцинкованої листової сталі — 0,15 – 0,18, азбоцементних труб — 0,05 – 0,1, з труб, що виготовлені з дерев'яних струганих дощок — 0,15 – 0,3 мм.

Знаючи абсолютну шорсткість, гідравлічний діаметр повітропроводу і число Re , знаходять коефіцієнт втрат на тертя:

$$\lambda = 0,1 \left(\frac{\Delta}{D_r} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}. \quad (3.15)$$

Гідравлічний діаметр повітропроводу D_r визначають так: $D_r = 4F / \Pi$, де F і Π — відповідно площа, м², і периметр, м, поперечного перерізу повітропроводу. Для повітропроводів круглого поперечного перерізу гідравлічний діаметр дорівнює діаметру повітропроводу.

При малих значеннях Re (ламінарний потік) вплив відносної шорсткості стає незначним. При цьому вираз (3.15) записують так:

$$\lambda = 0,136 Re^{-0,25}. \quad (3.16)$$

При великих значеннях Re (турбулентний потік) значення виразу $100/Re$ дуже мале і ним нехтують. При цьому коефіцієнт втрат визначають за залежністю

$$\lambda = 0,1 \left(\frac{\Delta}{D_r} \right)^{0,25}. \quad (3.17)$$

Вираз (3.17) використовують при наближених розрахунках шорстких повітропроводів.

При температурі 20 °C, барометричному тиску 760 мм рт. ст. і відносній вологості 50 % густина повітря $\rho = 1,2$ кг/м³.

Втрати тиску, зумовлені зміною конфігурації повітропроводу, визначають за формулою

$$\Delta H_M = \xi \frac{\rho v^2}{2}, \quad (3.18)$$

де ξ — безрозмірний коефіцієнт місцевих опорів; v — швидкість руху повітря в певних перерізах повітропроводу, м/с.

За виразами (3.14) і (3.18) визначають статичний тиск

$$H_{\text{ст}} = \Delta H_{\text{т}} + \Delta H_{\text{м}}. \quad (3.19)$$

Динамічний тиск визначають за виразом

$$H_{\text{дин}} = \frac{\rho v^2}{2}. \quad (3.20)$$

Розрахунковий тиск вентиляційної установки визначають за виразом (3.13).

За розрахунковою максимальною подачею і розрахунковим тиском вибирають вентилятор, використовуючи аеродинамічні характеристики вентиляторів певної швидкості. При цьому розрахункові значення подачі і повного тиску повинні знаходитись у робочій зоні аеродинамічної характеристики вентилятора.

Для одержання робочої точки на характеристиці $H - Q$ необхідно розрахувати характеристику повітропроводу за виразом

$$\Delta H = KL^n, \quad (3.21)$$

де ΔH — сумарні втрати тиску в повітропроводі, Па; K — параметр, що характеризує гідравлічний опір повітропроводу; n — показник степеня. Для ламінарного потоку $n = 1$, для турбулентного — $n = 1,75 - 2$.

Параметр K визначають за формулою

$$K \leq \left(l \frac{\lambda}{D_{\Gamma}} + \sum \xi \right) \frac{\rho}{2} \left(\frac{4}{\pi D_{\Gamma}^2} \right)^2, \quad (3.22)$$

де l — довжина повітропроводу одного діаметра, м; λ — коефіцієнт втрат на тертя; D_{Γ} — гідравлічний діаметр повітропроводу, м; ξ — сума коефіцієнтів місцевих опорів; ρ — густина повітря, кг/м^3 .

Робочий режим вентилятора для даного повітропроводу визначається рівністю створюва-

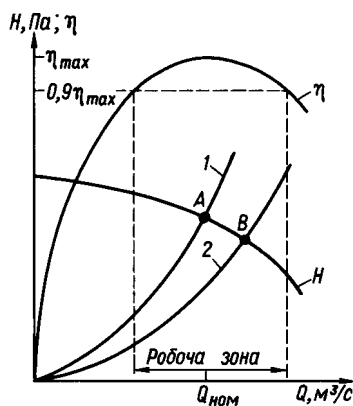


Рис. 3.11. Режим роботи вентилятора:

1 — без дифузора; 2 — з дифузором

ного повного тиску H повному гідравлічному опору (рис. 3.11, точка A). Якщо точка A виходить за робочу зону або вентилятор не забезпечує необхідну подачу, потрібно зменшити гідравлічний опір повітропроводу. Для зменшення опору на кінці повітропроводу встановлюють дифузор, який зменшує швидкість витікання повітря і тим самим зменшуються гідравлічні втрати (рис. 3.11, точка B). Зміна кутової швидкості вентилятора не призводить до зміни характеристики повітропроводу. При цьому зміняться лише подача і тиск вентилятора.

3.3 РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕНТИЛЯТОРА

У виробничих умовах іноді виникає необхідність за допомогою певних пристроїв без зупинки вентиляційної установки змінювати подачу вентилятора. При цьому зміняться тиск, що розвиває вентилятор, споживана привідним двигуном потужність та коефіцієнт корисної дії.

Досить поширеним способом регулювання параметрів вентиляційної установки є дроселювання, тобто встановлення перед вентилятором або за ним заслінки, що частково перекриває повітропровід. При цьому збільшується коефіцієнт місцевих втрат i , як наслідок, характеристика повітропроводу стає більш стрімкою (рис. 3.12). Як видно з рисунка, регулювання вентиляційної установки за допомогою заслінки є неекономічним, тому що викликає

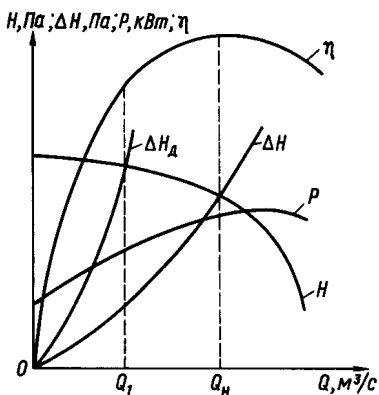


Рис. 3.12. Регулювання вентилятора дроселюванням повітропроводу:

ΔH , ΔH_d відповідно характеристики повітропроводу без дроселювання та з дроселюванням

зниження коефіцієнта корисної дії. При дроселюванні вентиляційних установок з радіальними вентиляторами потужність, споживана двигуном, зменшується. Отже, привідні двигуни радіальних вентиляторів запускають при закритій заслінці на повітропроводі (якщо вона є).

Осьові вентилятори при дроселюванні споживають більшу потужність, тому що характеристика $P = f(Q)$ у них є нисхідною залежністю (див. рис. 3.9). Тому пуск установок з осьовими вентиляторами здійснюють при максимальній подачі.

Як уже відзначалось, встановлення дифузора призводить до зменшення опору повітропроводу і збільшення продуктивності вентилятора відносно розрахункового режиму (див. рис. 3.11, точка *B*). При цьому збільшується розрахункова потужність для радіальних вентиляторів.

Регулювати тиск чи подачу вентиляторної установки можна вмиканням на один повітропровід двох вентиляторів меншої потужності. Вентилятори можна з'єднувати паралельно і послідовно. Для забезпечення стійкої паралельної роботи двох вентиляторів на робочій ділянці аеродинамічної характеристики повинна бути така ділянка, на якій при збільшенні продуктивності створюваний вентилятором тиск зменшується. Така вентиляційна установка більш надійна з точки зору резервування. При послідовному з'єднанні вентиляторів один із них може регулюватись дроселюванням аж до повного перекирвання. Енергетичні показники установки будуть вищі, ніж при дроселюванні одного ізольованого вентилятора. Сумарні характеристики вентиляторів при їх послідовному та паралельному з'єднанні наведені на рис. 3.13.

В умовах сільськогосподарського виробництва найчастіше регулювання параметрів вентилятора здійснюють зміною частоти обертання. Для цього використовують дво- і тришвидкісні двигуни (припливні системи вентиляції) та регулювання частоти обертання спеціальних двигунів зміною напруги на статорі. При використанні багатшвидкісних двигунів частота обертання визначається кількістю пар полюсів:

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s), \quad (3.23)$$

де p — число пар полюсів; f — частота струму; s — ковзання.

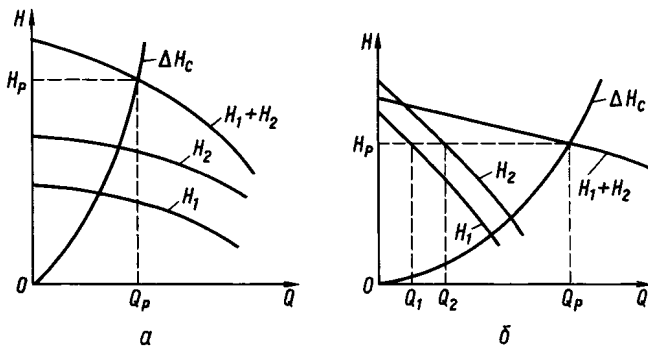


Рис. 3.13. Сумарні характеристики двох вентиляторів: *a* — послідовне з'єднання; *б* — паралельне з'єднання

При зміні частоти обертання n вентилятора продуктивність Q , повний тиск H , потужність P та коефіцієнт корисної дії η змінюються за залежностями:

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'}; \frac{H}{H'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2; \frac{P}{P'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^3; \frac{\eta}{\eta'} = 1. \quad (3.24)$$

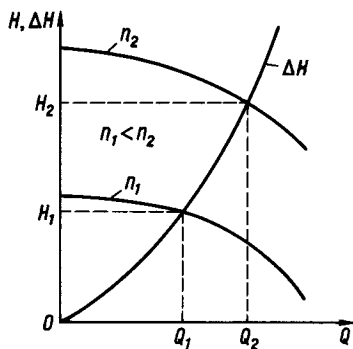
Залежності (3.24) справедливі при незмінному діаметрі робочого колеса вентилятора і незмінній густині повітря.

При зміні частоти обертання колеса вентилятора характеристика повітропроводу не змінюється і робоча точка вентилятора переміститься по параболі, що збігається з характеристикою повітропроводу (рис. 3.14). При цьому коефіцієнт корисної дії вентилятора залишається незмінним. Потужність двигуна при зміні частоти обертання змінюється за кубічною залежністю. У двошвидкісних двигунів серії АИ є виконання для привода робочих машин з вентиляторною механічною характеристикою. Характерною ознакою цих двигунів є те, що потужність у них на вищій частоті обертання значно більша за потужність на нижчій частоті обертання. Для двигунів з числом полюсів 4/2, 8/4 діапазон регулювання становить 1 : 2. При такому діапазоні регулювання потужність на вищій частоті обертання визначається залежністю

$$P_{\text{вищ}} = P_{\text{ниж}} \left(\frac{n_{\text{вищ}}}{n_{\text{ниж}}}\right)^3 = P_{\text{ниж}} \cdot 2^3 = 8P_{\text{ниж}}. \quad (3.25)$$

Для двигунів з числом полюсів 8/6 діапазон регулювання дорівнює 1 : 1,33. Потужність на вищій частоті обертання визначається так:

$$P_{\text{вищ}} = P_{\text{ниж}} \left(\frac{n_{\text{вищ}}}{n_{\text{ниж}}}\right)^3 = P_{\text{ниж}} \cdot 1,33^3 = 2,35P_{\text{ниж}}. \quad (3.26)$$



Співвідношення потужностей (3.25), (3.26) дотримуються в двошвидкісних двигунах, призначених для привода вентиляторів. Так, двигуни АИР112М4/2УЗ та АИР112М8/6УЗ мають відповідно співвідношення потужностей: $P_{\text{вищ}} = 7,9P_{\text{ниж}}$ і $P_{\text{вищ}} = 2,5P_{\text{ниж}}$. Отже, згадані дви-

Рис. 3.14. Регулювання вентилятора зміною частоти обертання лопаточного колеса

гуни при зміні частоти обертання працюють практично з повним навантаженням на відміну від двошвидкісних двигунів загального призначення, в яких потужність на вищій частоті обертання більша на 30–50 % за потужність при нижчій частоті обертання. Тому двошвидкісні двигуни загального призначення для привода вентиляторів застосовувати не слід. При нижчій частоті обертання вони будуть працювати з малим навантаженням і, як наслідок, з низькими енергетичними показниками.

Осьові вентилятори серії ВО, що використовуються для важкої системи вентиляції тваринницьких, птахівницьких та інших виробничих приміщень, мають регулювання подачі повітря. Регулювання подачі вентиляторів здійснюється за рахунок зміни частоти обертання спеціальних двигунів АИРП та 4АПА, якими комплектуються вентилятори. Двигуни АИРП мають номінальні потужності 0,25 і 0,37 кВт, а 4АПА відповідно 0,37; 0,55; 1,1 кВт. Синхронна частота обертання наведених двигунів становить 1000 об/хв, критичне ковзання приблизно 0,5. Витяжна вентиляційна система тваринницьких, птахівницьких та інших виробничих приміщень комплектується осьовими вентиляторами ВО-Ф-5,6А; ВО-Ф-7,1А; ВО-Ф-8,5 відповідно з двигунами 4АПА80-06У2, 4АПА80А6У2, 4АПА90L6У2. Частоту обертання електровентиляторів регулюють, змінюючи напругу на статорній обмотці двигунів. Напругу змінюють ступенями за допомогою автотрансформатора або плавно тиристорним перетворювачем напруги. Згадані двигуни обдуваються вентиляторами, які приводяться ними в рух. Станина двигунів не має оребрення. Літера П в позначенні серії двигуна вказує на те, що він продувається вентилятором серії ВО, насадженим безпосередньо на вал двигуна.

Якщо змінювати напругу на статорній обмотці згаданих двигунів без навантаження (без вентилятора), то кутова швидкість ротора практично змінюватись не буде. Пояснюється це тим, що напруга не входить безпосередньо у вираз по визначенню кутової швидкості $[\omega = \omega_0(1 - s)]$. При зміні напруги критичне ковзання двигуна залишається практично незмінним (при незмінному значенні X_k) і дорівнює

$$s_k = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}}. \quad (3.27)$$

Зміна напруги призводить до зміни коефіцієнта жорсткості β механічної характеристики двигуна, який визначається за виразом:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega}, \quad (3.28)$$

де M — момент двигуна; ω — кутова швидкість.

Момент двигуна залежить від таких параметрів:

$$M = 3kJ'_2\Phi \cos \varphi_2 = 3 \frac{kE'_2 s \Phi R'_2}{Z'_2{}^2}, \quad (3.29)$$

де E'_2 — електрорушійна сила в обмотці ротора при ковзанні, рівному одиниці. Цей параметр можна виразити так: $E'_2 \approx \approx k\Phi\omega_0$; s — ковзання [$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$]; R'_2 , Z'_2 — відповідно приведені активний та повний опори роторного кола. Підставивши значення E'_2 та s у вираз (3.29), одержимо:

$$\begin{aligned} M &= \frac{3(k\Phi)^2 \omega_0 R'_2 (\omega_0 - \omega)}{\omega_0 Z'_2{}^2} = \\ &= \frac{3(k\Phi)^2 R'_2 \omega_0}{Z'_2{}^2} - \frac{3(k\Phi)^2 R'_2 \omega}{Z'_2{}^2}. \end{aligned} \quad (3.30)$$

Взявши похідну з виразу (3.30), одержимо коефіцієнт жорсткості механічної характеристики асинхронного двигуна:

$$\frac{dM}{d\omega} = - \frac{3(k\Phi)^2 R'_2}{Z'_2{}^2}. \quad (3.31)$$

Якщо вважати параметри ротора сталими, то коефіцієнт жорсткості механічної характеристики β знижується при зменшенні магнітного потоку в квадратичній залежності. Магнітний потік Φ прямо пропорційно залежить від напруги на статорі двигуна. Отже, зміна напруги на статорі призводить до значного зменшення коефіцієнта жорсткості та перевантажувальної здатності двигуна. При вентиляторній механічній характеристиці робочої машини перевантажувальна здатність залишається достатньою для стабільної роботи електровентилятора.

Перехід на штучні механічні характеристики двигуна супроводжується збільшенням його ковзання, яке при низьких напругах стає більшим за критичне ковзання. При цьому система двигун — вентилятор залишається статично стійкою.

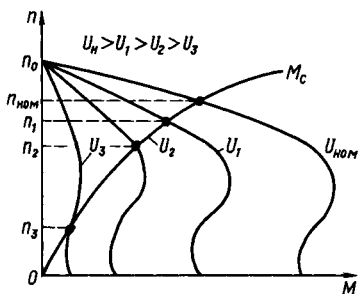


Рис. 3.15. Залежність частоти обертання електровентилятора від напруги на статорі двигуна

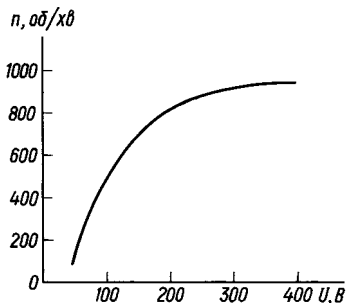


Рис. 3.16. Регульовальна характеристика електровентилятора ВО-Ф-7,1А

Робота двигуна при великих ковзаннях не призводить до появи струмів більше номінального значення, оскільки споживана вентилятором потужність при цьому різко знижується (3.24). Залежність частоти обертання двигуна при різних значеннях напруги наведено на рис. 3.15. Така система регулювання подачі вентилятора забезпечує плавну зміну частоти обертання в діапазоні 1 : 6. Залежність частоти обертання від напруги на статорі двигуна електровентилятора (рис. 3.16) називають регульовальною характеристикою.

У витяжних вентиляційних системах, що працюють без повітропроводів, продуктивність системи регулюють вмиканням певної кількості вентиляторів. За такою схемою працюють дахові вентилятори, тобто радіальні або осьові вентилятори, розміщені на вертикальній осі в короткому патрубку в отворі покрівлі, а також осьові вентилятори серії ВО, що розміщуються в нижній частині поздовжніх стін тваринницьких, птахівницьких або інших виробничих приміщень.

3.4. ВИБІР ВЕНТИЛЯТОРА ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДО НЬОГО

Для вибору типу і розміру вентилятора необхідно знати розрахункові значення обміну повітря та повного тиску, які визначаються залежностями (3.4), (3.5), (3.8) та (3.21). Вентилятор повинен мати подачу Q та тиск H у робочій зоні не менше максимального розрахункового обміну повітря і розрахункового значення повного тиску. Для припливної вентиляції в сільському господарстві, як правило, використовують радіальні вентилятори з лопатками, загнутими назад, коефіцієнтом повного тиску $\psi = 4$ і швидкохідністю $n_y = 75$ (В-Ц4-75). За розрахунковими подачею повітря і тиском, ко-

ристуючись аеродинамічними характеристиками згаданих вентиляторів, вибирають номер вентилятора, який забезпечує потрібні параметри. Для визначення робочої точки вентиляторної установки розраховують характеристику повітропроводу за виразами (3.21), (3.22). Точка перетину цієї характеристики з кривою $H - Q$ визначає робочу точку, яка повинна знаходитись у робочій зоні вентилятора, тобто в зоні, де коефіцієнт корисної дії вентилятора не менше $0,9\eta_{\max}$ (див. рис. 3.11).

При роботі вентилятора завжди виникає шум, який не повинен перевищувати значень, допустимих санітарними нормами для відповідних приміщень. Вибір вентилятора передбачає перевірку його шумової характеристики. У ряді випадків надмірно високий рівень шуму обмежує можливості використання вентилятора з необхідними аеродинамічними характеристиками та потребує спеціальних заходів по зниженню шуму, що ускладнює вентиляційну установку та збільшує її вартісні показники.

При роботі вентилятора мають місце коливні процеси аеродинамічного походження внаслідок виникнення вихрів в міжлопаткових каналах, пульсацій тиску і швидкості від неоднорідності потоку, а також автоколивань при малих швидкостях системи вентилятор — повітропровід. Коливні процеси аеродинамічного походження є джерелом шуму вентилятора. Крім того, при роботі вентиляторної установки має місце механічний шум, який створюється підшипниками вентилятора та його незбалансованістю. Шум електродвигуна та передавального пристрою не включають до шуму вентилятора.

У шумовій характеристиці вентилятора переважають шуми аеродинамічного походження. Процеси генерації шумів у вентиляторі досить складні і математично не описуються. Шумові характеристики одержують експериментально і наводять для кожного вентилятора в графічній формі (рис. 3.17). Маючи графік шуму вентилятора залежно від частоти обертання та подачі і допустимі санітарні норми значення шумових навантажень, приймають рішення про придатність вентиляційної установки для конкретного приміщення.

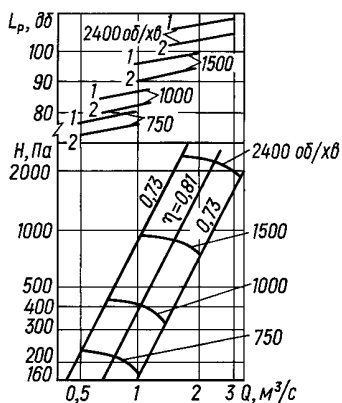


Рис. 3.17. Шумова характеристика відцентрового вентилятора Ц4-70-5:
1 — канал нагнітання; 2 — канал всмоктування

При проектуванні вентиляційної установки приймають до уваги фактори, що знижують її шум. Дослідним шляхом встановлено, що радіальні вентилятори з лопатками, загнутими назад, мають рівень звукової потужності на 3 – 8 дБ менше при режимі максимального ККД, ніж вентилятори такого самого габариту з лопатками, загнутими вперед.

Під час налагодження вентиляційної установки перевіряють балансування системи вентилятор — двигун. Незбалансована установка передає вібрації по конструкціях приміщення і цим самим створює додатковий шум вентиляторної установки.

З метою зменшення шуму вентилятор із всмоктувальним і нагнітальним повітропроводами з'єднуються за допомогою гнучких вставок з брезенту.

Як видно з рис. 3.17, зниження частоти обертання робочого колеса вентилятора дає можливість знизити шум.

Якщо перераховані заходи не дають можливості довести рівень шуму до норми, використовують спеціальні облицювальні шумопоглинальні матеріали та підкладки під вентиляторну установку.

Відомо, що електропривід включає перетворювальний пристрій, двигун, передавальний пристрій та апаратуру захисту і керування. Перетворювальним пристроєм для електропривода вентилятора може бути випрямляч змінної напруги в постійну, автотрансформатор, тиристорний регулятор напруги змінного струму, регулятор частоти. У припливних вентиляційних установках сільськогосподарського призначення, як правило, використовують електропривід змінного струму без перетворювального пристрою, тобто двигун вмикається безпосередньо в мережу. При необхідності плавного регулювання подачі припливного вентилятора необхідно передбачати перетворювальний пристрій, прийнявши регульований електропривід постійного або змінного струму. Електропривід витяжних систем вентиляції, як правило, має перетворювальний пристрій, автотрансформатор або тиристорний регулятор напруги, які відповідно забезпечують ступінчасте і плавне регулювання подачі осьових вентиляторів.

Припливний вентилятор у більшості випадків розміщується у вентиляційній камері виробничого приміщення, де оточуюче середовище не містить шкідливих домішок. Тому електричні двигуни приймають загального використання (АИР...УЗ), що мають ступінь захисту IP44, конструктивне виконання за способом монтажу IM1081.

Електровентилятори витяжної системи вентиляції встановлюють у виїмках стін виробничого приміщення. Здебіль-

шого це приміщення для утримання худоби та птиці, що відносяться до особливо сирих, з хімічно активним середовищем. Привід осьових вентиляторів витяжної системи здійснюється спеціальними електродвигунами 4АПА80, 4АПА90 та АИРП80, які стійкі проти вологи, хімічних речовин та впливу низьких температур. Ступінь захисту згаданих двигунів *IP55*, конструктивне виконання за способом монтажу — *IM9241*.

Якщо технологічний процес допускає ступінчасте регулювання подачі припливного вентилятора, то в цьому випадку електропривід проектується без перетворювального пристрою, а необхідну подачу забезпечують багатшвидкісним двигуном. Коли подачу припливної вентиляції не потрібно регулювати, приймають одношвидкісний нерегульований двигун.

При виборі електричних модифікацій двигунів для привода вентиляторів враховують привідні характеристики вентилятора. Вентилятор має початковий статичний момент 10 – 15 % від номінального статичного моменту. Отже, з точки зору пускового моменту, електродвигун повинен бути загального використання. У витяжних системах вентиляції, з метою плавного регулювання подачі вентилятора, використовують електричні двигуни з підвищеним ковзанням.

Вентилятор краще всього з'єднувати з двигуном безпосереднім насаджуванням його на вал двигуна. Таке з'єднання використовують для осьових вентиляторів серії ВО та радіальних вентиляторів з номерами до 6,3. Еластичні муфти, як передавальні пристрої, використовувати небажано з причини можливої неспіввісності установки при монтажі. Неспіввісність призводить до значних вібрацій, додаткових навантажень на підшипники двигуна і передчасний вихід їх з ладу. Як передавальний пристрій у приводі вентилятора використовують клинопасову передачу.

При виборі електродвигуна для привода вентилятора за потужністю використовують навантажувальну діаграму вентилятора, яка впливає з балансу потужності системи двигун — вентилятор:

$$P_d - P_{св} = j\omega \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.32)$$

де P_d — потрібна потужність двигуна, Вт; $P_{св}$ — статична потужність вентилятора, Вт; j — зведений момент інерції системи, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; ω — поточні значення кутової швидкості, 1/с; t — час, с.

Вентилятор працює в режимі S1 і тому можна розглядати навантажувальну діаграму для усталеного режиму. При цьому ліва частина виразу (3.32) буде дорівнювати нулю.

Статична потужність вентилятора визначається залежністю

$$P_{\text{ст}} = \frac{QH}{10^3 \eta_{\text{в}}}, \quad (3.33)$$

де Q , H — відповідно подача і повний тиск вентилятора, що визначаються точкою перетину характеристики вентилятора $H - Q$ і характеристики повітропроводу; $\eta_{\text{в}}$ — коефіцієнт корисної дії вентилятора, який враховує гідравлічні втрати потужності в робочому колесі і на перетікання повітря через зазори всередині вентилятора.

Якщо в залежність (3.33) підставити нульове значення подачі, то статична потужність вентилятора також буде дорівнювати нулю. Насправді, при закритому повітропроводі, коли подача дорівнює нулю, вентилятор споживає потужність, зумовлену тертям робочого колеса об повітря. Це так звана нульова потужність, яку аналітично визначити досить складно. Отже, вираз (3.33) не можна вважати в повній мірі аналітичним.

Номінальна потужність двигуна $P_{\text{нд}}$ визначається співвідношенням

$$P_{\text{нд}} \geq \frac{P_{\text{св}} k}{\eta_{\text{п}}}, \quad (3.34)$$

де $\eta_{\text{п}}$ — коефіцієнт корисної дії передачі; k — коефіцієнт запасу потужності, який враховує неточності при розрахунках повного тиску вентилятора, характеристики повітропроводу та інші непередбачені відхилення при проектуванні вентиляторної установки. Введення коефіцієнта запасу k у залежність (3.34) виключає необхідність приймати запаси по параметрах подачі і тиску вентилятора.

Величина коефіцієнта запасу для радіальних вентиляторів з лопатками, загнутими назад (В-Ц4-75), та для осьових вентиляторів має такі значення:

$P_{\text{св}}$, кВт	До 0,5	0,6 – 1	1,1 – 2	2,1 – 3	3,1 і більше
Коефіцієнт запасу k для вентиляторів:					
відцентрових	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1
осьових	1,2	1,15	1,1	1,05	1,05

При виборі електричного двигуна за частотою обертання необхідно враховувати, що радіальні вентилятори допускають збільшення частоти обертання відносно номінального значення на 10 %.

Електродвигуни вентиляторів працюють в усталеному режимі при незмінному навантаженні. Захисні апарати вентиляційної установки відповідно до Правил устрою електроустановок (ПУЕ) повинні забезпечувати захист від струмів три- та однофазного короткого замикання. Цю функцію у більшості випадків виконують електромагнітні розчіплювачі автоматичних вимикачів. Якщо розрахунки показують, що струм однофазного короткого замикання не вимикається електромагнітним розчіплювачем, то необхідно приймати автоматичний вимикач з комбінованим розчіплювачем. При цьому автоматичний вимикач вимкне пошкоджену електроустановку за умов, що струм однофазного замикання перебільшує номінальний струм розчіплювачів вимикача не менше, ніж у 3 рази.

3.5. КОМПЛЕКТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИМИ УСТАНОВКАМИ

Для забезпечення потрібного повітрообміну та створення необхідного мікроклімату в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях застосовують різноманітні комплекти вентиляційного обладнання, які за призначенням поділяють на три групи: припливні, витяжні та комбіновані. Найбільшого розповсюдження набули витяжні системи вентиляції, які видаляють відпрацьоване повітря з приміщення разом із шкідливими домішками (аміак, сірководень, вуглекислий газ, надлишкова волога).

Приплив свіжого повітря здійснюється через спеціальні шахти, вікна, двері, що спрощує систему вентиляції.

Типовим є проєкт вентиляційного обладнання “Клімат-4М”, який залежно від номера осьового вентилятора поділяється на “Клімат-45М” з вентиляторами ВО-Ф-5,6А та “Клімат-47М” з вентиляторами ВО-Ф-7,1А.

Кількість вентиляторів у комплекті залежить від розрахункової подачі повітря і може коливатися від 6 до 24. Крім вентиляторів, до комплекту входять автоматичні вимикачі АЕ2016 для кожного вентилятора та станція керування ТСУ-2-КЛУЗ.

Станція керування забезпечує плавне регулювання частоти обертання асинхронних електродвигунів витяжних вентиляторів з метою автоматичного підтримання температури

повітря у виробничих сільськогосподарських приміщеннях. Номінальний струм станції — 63 А, діапазон регулювання вихідної напруги — 6 : 1, відхилення температури від заданого значення, що викликає зміну вихідної напруги від мінімального до найбільшого значення, дорівнює 4 °С. Система керування споживає не більш ніж 40 Вт.

Пристрій ТСУ-2-КЛУЗ (“Климатика-1”) являє собою тиристорний регулятор напруги з цифровою системою керування на інтегральних мікросхемах, який забезпечує плавну зміну вихідної напруги за принципом фазового регулювання залежно від значення температури повітря в приміщенні. Передбачено ручний та автоматичний режими керування. Пристрій складається із 2 ящиків: блока регулятора, до якого входить силовий блок та блок керування, і блока перемикача. Останній виконує функції обвідного пристрою, а також захисту пристрою від коротких замикань. При положенні перемикача режиму роботи “Н” — некерований режим напруга подається на електродвигуни, обминаючи пристрій регулювання. У положенні “Р” — регульований режим двигуни одержують живлення з блока тиристорів.

Блок регулятора конструктивно виконаний у вигляді ящика одностороннього обслуговування. Особливістю конструкції ящика є те, що силові тиристори змонтовані на одному груповому охолоджувачі з застосуванням спеціальних діелектричних прокладок з високою теплопровідністю.

У силовому блоці встановлені шість силових тиристорів, захисні RC-ланцюжки, трансформатори системи керування, вузол захисту від перенапруги. Блок керування складається з двох друкованих плат та панелі керування. На панелі керування розміщені основні органи керування та сигналізації: резистор та блок перемикачів діапазонів “Установка температури”; блок перемикачів “Датчики” та “Ручне”, положення “1”, “2” якого відповідають кількості під’єднаних термоперетворювачів (датчиків) в автоматичному режимі роботи, а положення “Ручне” — ручному режиму роботи пристрою; резистор “Мінімальна напруга”, резистор та лампа “Аварійне відхилення температури”, резистор “Ручне керування”.

Датчиками температури є термоперетворювачі типу ТСМ (до 2 шт.), що ввімкнені паралельно і розподілені по довжині приміщення.

Функціональна схема пристрою наведена на рис. 3.18, де прийняті такі позначення: БР — блок регулятора, БП — блок перемикача, ТП — термоперетворювачі, БС — блок силовий, БУ — блок керування, ИП — джерело живлення,

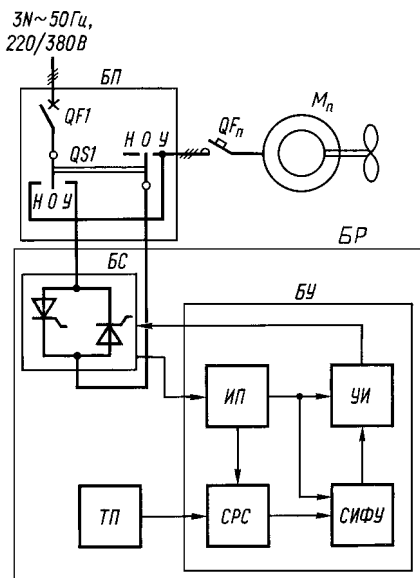


Рис. 3.18. Функціональна схема пристрою “Климатика-1”

СРС — система регулювання та сигналізації, СИФУ — система імпульсно-фазового керування, УИ — підсилювач імпульсів.

Силовий блок складається з трьох пар тиристорів типу Т123-250-9-41, що ввімкнені зустрічно-паралельно. Для захисту тиристорів від перенапруг мережі та комутаційних перенапруг у силовому блоці є спеціальний вузол захисту, що складається з *RC*-кіл та варисторів. Тут же встановлений трансформатор живлення системи керування та синхронізації імпульсів керування з фазами мережі живлення.

Структурна схема системи регулювання та сиг-

налізації наведена на рис. 3.19. Вона включає вимірювальний міст, в одно з плеч якого ввімкнені термоперетворювачі. Для балансування моста в разі під'єднання різної кількості термоперетворювачів, а також для забезпечення постійного значення чутливості моста при різній кількості термоперетворювачів за рахунок підтримання постійного значення напруги живлення моста служить вузол Д. Задатчиком температури УТ є перемикач діапазону та резистор “Установлення температури”. Задатчик дозволяє виконувати установлення температури від 0 °С до 40 °С. Для забезпечення точності установлення задатчик побудований за таким принципом: резистором *R6* здійснюється установлення температури від 0 до 10 °С. Діапазон зміни температур задається блоком перемикачів (чотири перемикачі з позначками “0 °С”, “10 °С”, “20 °С”, “30 °С”). Установлення температури визначається сумою величин положення резистора та позиції перемикача.

З вимірювального моста знімається сигнал розбалансу, пропорційний величині відхилення температури в приміщенні від установленого значення, який підсилюється підсилювачем У1. Підсилений сигнал з виходу У1 надходить на

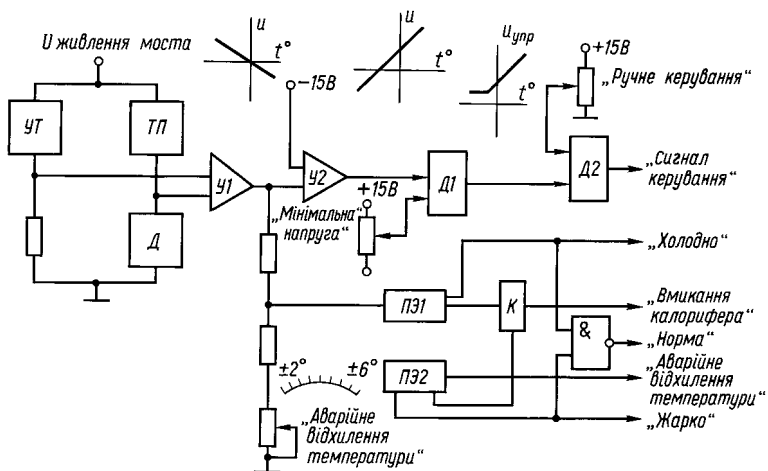


Рис. 3.19. Структурна схема системи регулювання та сигналізації

вхід підсумовуючого підсилювача У2, де складається з сигналом базової напруги, що надходить від джерела 15 В і відповідає рівню вихідної напруги при врівноваженому мості (сигнал “Норма”). Це приблизно відповідає середній швидкості обертання вентиляторів і забезпечує оптимальну роботу пристрою при позитивному та негативному відхиленнях температури від встановленого значення.

Це видно з робочої характеристики пристрою (рис. 3.20), яка визначає залежність вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ від відхилення температури Δt відносно встановленого значення. Величина напруги $U_{\text{вих.min}}$ визначається зоотехнічними вимогами з умов мінімально допустимого повітрообміну і задається резистором “Мінімальна напруга” на панелі керування. Шкала цього резистора безрозмірна з поділками від 0 до 10.

Сигнал керування порівнюється з рівнем, що заданий резистором “Мінімальна напруга” на елементі Д1 і виконаний на двох діодах.

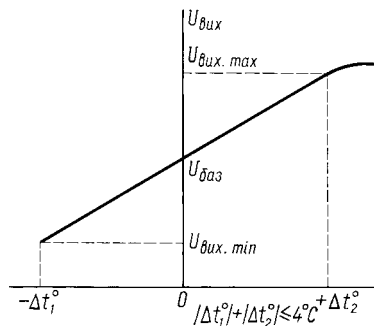


Рис. 3.20. Робоча регулювальна характеристика станції “Климатика-1”

Той із сигналів, що має більшу величину, надходить у систему імпульсно-фазового керування СИФУ через елемент Д2 (перемикач “Ручне”). Задатчиком ручного керування є резистор “Ручне керування” при положенні перемикачів “Ручне”.

Схема сигналізації “Жарко”, “Норма”, “Холодно”, а також “Аварійне відхилення температури” виконана на порогових елементах ПЭ1 та ПЭ2 та світлодіодах.

При негативному відхиленні температури від встановленого значення більше заданого загоряється світлодіод “Холодно”, одержує живлення котушка реле *K*, яке вмикає лампу “Аварійне відхилення температури” та дає команду на введення в дію додаткових джерел тепла (наприклад, електрокалорифера). Режим комутації реле *K*: 36 В, 0,3 А постійного або змінного струмів. При підвищенні температури на 2 ± 1 °С сигналізація “Аварійне відхилення температури” та додаткові джерела тепла вимикаються, загоряється світлодіод “Норма”.

При позитивному відхиленні температури вище норми спрацьовує сигналізація “Аварійне відхилення температури” та загоряється світлодіод “Жарко”. Величина допустимого відхилення температури в межах від ± 2 °С до ± 6 °С може бути задана відповідним резистором.

Система імпульсно-фазового керування СИФУ складається з вузлів синхронізації, імпульсно-фазового керування та захисту. Вузол синхронізації, побудований на транзисторних ключах, узгоджує імпульси з фазними напругами мережі.

Вузол імпульсно-фазового керування включає аналого-імпульсний перетворювач, чотирирозрядні лічильники, генератор частотного заповнення імпульсів та підсилювачів — розподільників імпульсів. Аналого-імпульсний перетворювач — це генератор імпульсів, який виробляє послідовно короткочасні імпульси, період чергування яких відповідає величині сигналу керування. Вихідні імпульси генератора надходять на лічильні входи лічильників.

При кожному переході синхронізуючої напруги через нуль лічильники повертаються у вихідне положення, після чого знову починають підраховувати імпульси, що надходять від генератора. Тривалість імпульсу дорівнює 180 електричних градусів. Сформований сигнал у вигляді певної кількості імпульсів надходить на керуючі електроди силових тиристорів, завдяки чому змінюється фаза їх відкриття і вихідна напруга (фазове керування).

Вузол захисту виконує функції захисту при зворотній черговості фаз мережі, а також при обриві однієї з фаз шля-

хом зняття імпульсів керування. Спрацювання вузла захисту супроводжується світловою сигналізацією (гасне світлодіод “Ввімкнено”).

Для забезпечення можливості пуску двигунів вентиляторів у режимі малих швидкостей, коли вихідна напруга пристрою менше напруги, необхідної для запуску, передбачений вузол, який формує при вмиканні пристрою імпульс керування, що в свою чергу викликає короточасне збільшення вихідної напруги до величини, достатньої для запуску електровентиляторів.

Контроль роботи системи керування можна здійснити, вимірюючи рівень та форму сигналу в контрольних точках пристрою, які задані в інструкції. Це дозволяє за допомогою осцилографа провести діагностику та необхідний ремонт. Перевагою станції керування “Климатика-1” є також те, що блок керування розміщений на спеціальній платі, яка з’єднана з іншими блоками через штепсельний роз’єм і може бути легко замінена.

Модернізована тиристорна станція керування типу ТСУ-ЗКЛУЗ призначена для роботи в системі “Клімат-4М” і виконує ті самі функції. Основна її відмінність — застосування в системі керування мікро-ЕОМ, що відносить дану станцію до продукції особливої складності. Пристрій забезпечує чотири режими роботи: ручний, програмування, автоматичний та “Обвод”.

У ручному режимі ступені частоти обертання задає оператор.

У режимі програмування здійснюється ввід у постійний запам’ятовуваний пристрій (ПЗУ) даних настроювання, які визначають роботу в автоматичному режимі.

В автоматичному режимі виконується регулювання частоти обертання електровентиляторів у функції температури повітря в приміщенні.

У режимі “Обвод” здійснюється вимикання силового блока тиристорів та панелі керування, а під’єднання навантаження до мережі виконується через автоматичні вимикачі. Пристрій у режимі програмного керування може здійснювати зміну заданої температури в приміщенні до 90 діб, що забезпечує температурний режим протягом циклу виробування молодняка, коли відповідно до його росту температура утримання зменшується.

Силовий блок, що складається з шести тиристорів, аналогічний пристрою ТСУ-2КЛ. Панель керування включає однокристалну мікро-ЕОМ і виконує функції формування імпульсів керування тиристорами та виконавчими реле.

У порівнянні з попередньою системою вентиляції серії “Климат-4”, де регулювання частоти обертання вентиляторів здійснюється зміною підведеної напруги, що подається від певних відпайок автотрансформатора, система “Климат-4М” має такі переваги:

- вилучення зі схеми автотрансформатора АТ-10 потужності 10 кВ · А зменшує втрати електроенергії на 20 %, одночасно зменшуючи витрати міді і сталі та загальну металоємність комплекту;

- зменшення кількості релейно-контактних елементів у схемі (при вилученні 6 електромагнітних пускачів та 2 терморегуляторів з 4 реле) зменшує витрати дорогіших контактних металів та витрати на обслуговування;

- плавне регулювання напруги замість тріступінчастого дає можливість більш точно підтримувати температуру в приміщенні та вибирати економічніший режим.

Однак, тиристорне регулювання напруги спричиняє живлення електродвигунів від несинусоїдальної напруги, що погіршує режим їх експлуатації та створює радіоперешкоди для приймачів, які живляться від однієї мережі з “Климатикою-1”.

Тому поряд з тиристорними станціями керування розроблена модернізована станція серії ШОА, де автотрансформатор залишений у схемі, число груп вентиляторів не регулюється, а зміна напруги живлення забезпечує не три, а шість частот обертання електровентиляторів. Це наблизило регулювання до плавного.

У схемі станції використано два терморегулятори, один з яких контролює температуру всередині приміщення за трьома позиціями “Вище норми”, “Норма”, “Нижче норми”, а другий — температуру зовнішнього середовища за межами приміщення, за тими самими трьома позиціями. За співвідношенням позицій терморегуляторів всередині приміщення і зовні виробляється сигнал для подачі відповідної напруги на електровентилятори.

Наприклад, ступеням швидкості від першої до шостої відповідають напруги 70, 90, 110, 160, 220, 380 В.

Комбіновані припливно-витяжні вентиляційні установки ПВУ-4М та ПВУ-6М призначені для вентиляції та опалення тваринницьких приміщень. Комплекс ПВУ-6М використовується переважно у пташниках.

До складу комплексу входять по шість припливно-витяжних установок, в яких суміщені подача свіжого і видалення відпрацьованого повітря. Переміщення повітря забезпечує-

Рис. 3.21. Функціональна схема припливно-втяжної установки ПВУ-М:

1 — кільцевий канал; 2 — робоче колесо вентилятора; 3 — внутрішній повітропровід; 4 — електронагрівачі; 5 — корпус; 6 — заслінки

ся двоконтурним робочим колесом 2 (рис. 3.21) вентилятора з двома робочими лопатками. Внутрішні лопатки переміщують відпрацьоване повітря по внутрішньому повітропроводу. Зовнішні — свіже повітря по кільцевому каналу 1 між корпусом 5 та внутрішнім повітропроводом 3. Змішувальні заслінки 6 забезпечують рециркуляцію повітря.

Для підігріву повітря в холодну пору року установки мають нагрівні елементи 4. Через стінки внутрішнього повітропроводу відбувається теплообмін між потоками відпрацьованого і свіжого повітря, завдяки чому 5 – 7 % теплоти внутрішнього повітря передається припливному повітрю, що забезпечує деяку економію енергоресурсів.

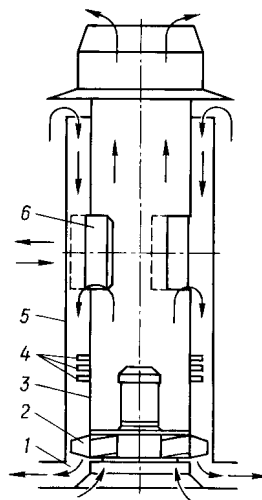
Схема керування установкою ПВУ-4М наведена на рис. 3.22.

Система керування забезпечує закриття регулюючих заслінок та регулювання потужності нагрівних елементів установкою за λ -законом при зниженні температури в приміщенні нижче заданого значення і відкривання заслінок при підвищенні температури вище заданого значення.

Керування електродвигунами $M1 - M3$ вентиляторів здійснюється кнопковими постами $SB1 - SB6$. Нагрівні елементи можуть бути ввімкненими тільки після вмикання вентиляторів, для чого автоматичні вимикачі $QF1 - QF3$ обладнані незалежними розчіплювачами. Вибір режиму керування нагрівними елементами здійснюється перемикачем QS .

В автоматичному режимі напруга живлення на нагрівні елементи подається через блок силових тиристорів $VS1 - VS4$, які ввімкнені в дві фази мережі зустрічно-паралельно. Регулюючі заслінки приводяться в дію виконавчим механізмом $M4$.

Керування регулюючими заслінками та потужністю нагрівних елементів відбувається за командами терморегулятора $A1$. На вхід регулятора $A1$ подається сигнал від датчика температури RK , який розміщується в зоні життєдіяльності тварин чи птахів.



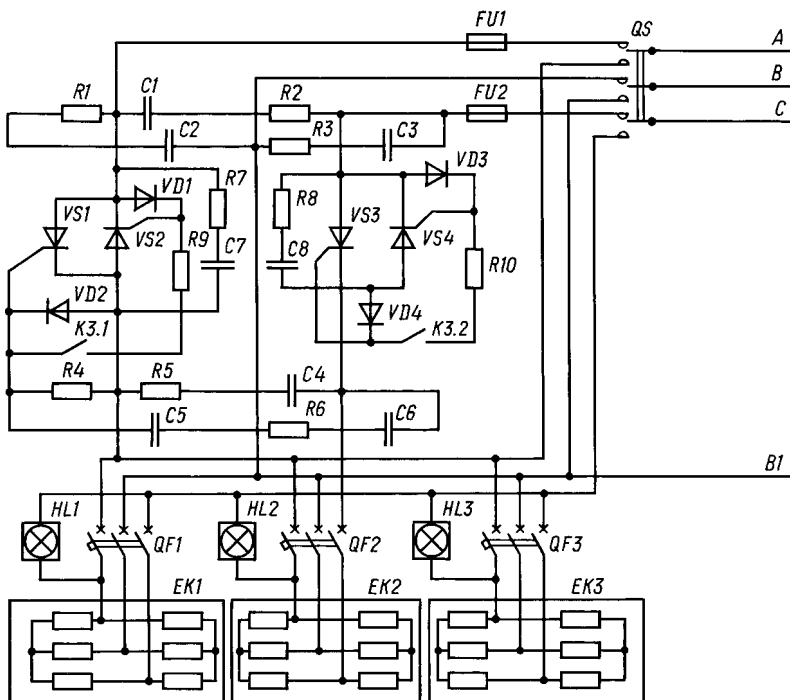
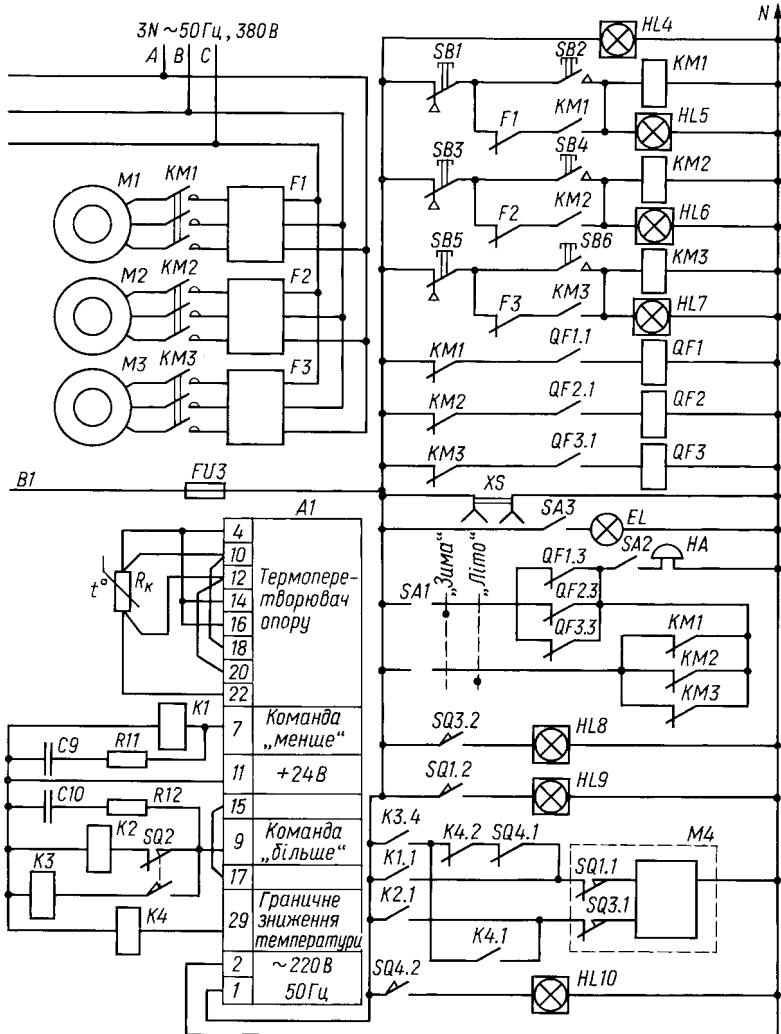


Рис. 3.22. Схема керування припливно-витяжною установкою ПВУ-4М

Сигнал термоперетворювача порівнюється з системою датчика температури і формується сигнал непогодження. На виході регулятор формує імпульси, які чергуються з паузами відповідно до величини сигналу непогодження. Імпульси через реле $K1$ і $K2$ керують роботою виконавчого механізму $M4$. Виконавчий механізм відкриває або закриває регулюючі заслінки, змінюючи частку зворотної теплої, що подається в приміщення. Якщо при досягненні регулюючими заслінками положення “Норма рециркуляції” (коли спрацює кінцевий вимикач $SQ2$) температура в приміщенні залишається нижчою від заданої, то реле $K3$ відповідно до команд регулятора $A1$ починає відкривати тиристри $VS1 - VS4$ і через них подавати напругу на нагрівні елементи $EK1 - EK3$. Якщо і після цього температура в приміщенні продовжує знижуватись і досягне гранично допустимого значення, встановленого на регуляторі $A1$, увімкнеться реле $K4$ і через виконавчий механізм $M4$ встановить регулюючі заслінки в положення “100 рециркуляція”.



При цьому все тепле повітря буде повертатися в приміщення. Коли температура в приміщенні буде підвищуватись, починає діяти зворотний алгоритм регулювання.

Захист електродвигунів вентиляторів від аварійних режимів здійснюється фазочутливими пристроями захисту $F1$, $F2$, $F3$. Нагрівні елементи від струмів короткого замикання захищені автоматичними вимикачами $QF1 - QF3$, а тиристо-

ри — плавкими запобіжниками $FU1$, $FU2$. Апарати керування та захисту установки ПВУ-4М змонтовані в шафі керування, при цьому одна шафа обслуговує три установки.

Одна установка ПВУ-4М забезпечує подачу повітря в приміщення на припливі — 5 тис. м³/год, на відпливі — 4,5 тис. м³/год. Встановлена потужність електронагрівників дорівнює 15 кВт. Осьовий вентилятор приводиться від електродвигуна потужністю 1,1 кВт, механізм привода заслінок — від мотор-редуктора з двигуном потужністю 0,55 кВт.

3.6. ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК В ІНШИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Вентиляційні установки з електроприводом широко застосовуються в багатьох технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Використовують їх для сушіння та активного вентилявання зерна, малосипучих матеріалів, в овоче- та фруктосховищах, спорудах захищеного ґрунту.

Основною відмінністю цих установок є специфічні вимоги до режиму роботи та керування, що зумовлює особливості в схемах керування та принципах автоматизації.

Установка УВС-16А призначена для досушування сіна за допомогою вентилятора з електродвигуном потужністю 15 кВт. Схема керування установкою наведена на рис. 3.23.

У ручному режимі (тумблер $S1$ у положенні "Р") керування пускачем KM , який подає живлення на двигун, здійсню-

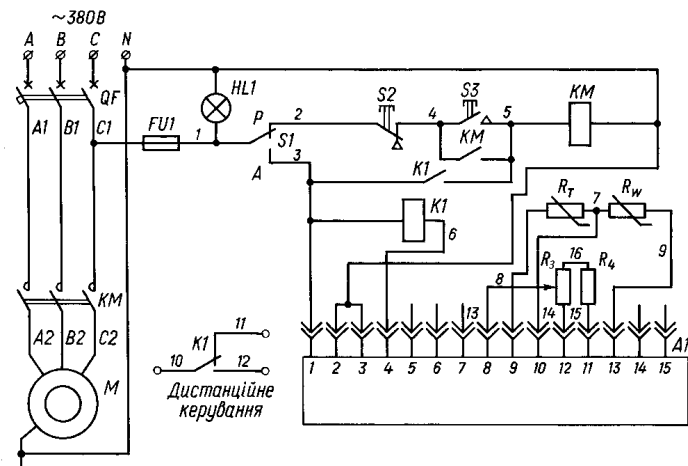


Рис. 3.23. Схема керування установкою для досушування сіна типу УВС-16А

ється кнопками S_2 та S_3 . В автоматичному режимі (положення “А”) пуск та зупинка електродвигуна M привода вентилятора відбувається залежно від вологості атмосферного повітря за сигналом A_1 . Схема керування визначає відносну вологість повітря з корекцією за температурою, порівнює цю величину з заданою і видає сигнал на вмикання або вимикання вентилятора. Електронний блок A_1 , що працює з первинним датчиком вологості R_w та температури R_t повітря і задатчиком відносної вологості R_3 , перетворює вхідний сигнал від R_w та R_t у релейний вихідний сигнал, який керує вмиканням та вимиканням котушки магнітного пускача KM .

Замість електронного блока керування A_1 ящик може комплектуватись блоком мікропроцесорного керування, виконаного на базі однокристальної ЕОМ серії $K1820$.

Алгоритм функціонування системи керування передбачає режим, що забезпечує гарантоване досушування сіна з урахуванням зміни кліматичних умов.

Наприклад, початкова гранична вологість сіна 85 %. Якщо реальна вологість повітря нижче цього значення, то сіно безперервно вентилюється протягом 40 – 50 год, потім відбувається автоматична зміна уставки на наступну, наприклад 80 %, і знову відбувається безперервне вентилювання і далі до кінцевої заданої уставки 65 %. Увесь процес досушування триває близько 200 год.

Якщо раптом погодні умови стали незадовільними і реальна вологість повітря перевищує значення уставки, безперервне вентилювання припиняється. Однак, щоб запобігти самонагріванню сіна, здійснюється примусове продування протягом певного часу (вентилятор вмикається на 0,5 год через кожні 5 год).

Електропривід відділення бункерів для активного вентилювання зерна ОБВ-160А має загальну встановлену потужність 280 кВт при живленні від мережі 380 В. До складу установки входять чотири бункери, в які вмонтовані вентилятори з електродвигунами потужністю 11 кВт кожний, та електронагрівники, з'єднані в 2 секції 30 та 24 кВт у кожному бункері.

Система переміщення зерна в процесі вентилювання передбачає 2 ковшових елеватори (норії), 4 гвинтових конвеєри (шнеки), системи аспірації зі шлюзовим затвором 1,1 кВт та вентилятором (4,0 кВт). Послідовність запуску електродвигунів залежить від технологічної схеми процесу, яка задається перемикачами режиму роботи.

Коли на пункт надходить зерно вологістю більше ніж 16 %, його треба досушувати, що і здійснюється в бункерах активного вентилявання. Повітря, яке надходить у бункер, попередньо підігрівається електронагрівниками на 1 – 5 °С. Цього достатньо, щоб зменшити відносну вологість до рівня гігроскопічної рівноваги, тобто 14 %.

Зерно в бункери подається за допомогою норій, а заповнення бункера контролюється датчиками. Датчиками вологості контролюється вологість повітря на виході з бункера. Якщо вологість більше ніж 65 %, вмикається вентилятор і зерно продувається доти, поки на виході з бункера вологість повітря не стане менше ніж 65 %, що відповідає вологості зерна 14 %.

Якщо погодні умови незадовільні і вологість повітря досягає 95 – 98 %, вмикаються електронагрівники, які підтримують необхідний рівень вологості за командами двох датчиків. Перший датчик вмикає першу секцію (30 кВт), коли відносна вологість повітря більше ніж 70 %, і вимикає при зменшенні вологості, другий вмикає другу секцію нагрівників (24 кВт) при вологості більше ніж 85 %, тобто електронагрівники вмикаються на повну потужність, коли відносна вологість повітря перевищує 85 %. Вологість зерна, яке вентилюється, контролюють через кожні 24 год.

Вентиляційні установки, які застосовуються в овочевфруктосховищах, за принципом дії і привідними характеристиками не мають істотних відмінностей від аналогічних установок, призначених для інших об'єктів. Змінюється лише технологічна схема та деякі вимоги, що зумовлюють введення в схему автоматизації додаткових датчиків (вологості, газового складу середовища) та окремих додаткових механізмів з електроприводом: механізмів зволоження повітря, електромагнітних клапанів, механізмів відкривання кватирок, електроприводів заслінок тощо.

Так, система обладнання ОРТХ призначена для регулювання температурно-вологісного режиму в сховищах до 1000 т з активним вентиляванням продукції, яка розміщується в двох камерах.

Вентиляція вмикається 4 – 6 разів на добу з рециркуляцією повітря по 15 – 30 хв за цикл в періоди, коли температура зовнішнього повітря нижче температури продукту, тобто ведеться охолодження продукту. У сховищах, де є штучне охолодження, вентиляція провадиться безперервно, а холодильники вмикаються тільки тоді, коли температура зовнішнього повітря перевищує температуру продукту. Оптимальна температура продукту при зберіганні дорівнює від – 1 до + 3 °С залежно від виду продукту.

У зимовий період вентиляція вмикається за програмою 4 – 5 разів на добу, а зниження температури продукту здійснюється шляхом змішування внутрішнього та зовнішнього повітря. Цю функцію виконує змішувачий клапан, який може займати три положення: подача зовнішнього повітря, змішування зовнішнього і внутрішнього повітря та рециркуляція. Температура повітря контролюється пропорційним терморегулятором.

4. ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

Транспортні операції є невід'ємною складовою частиною всіх виробництв. На тваринницьких фермах трудомісткість транспортних операцій становить 30 – 40 % всіх затрат праці.

Електрифіковані транспортні засоби поділяють на стаціонарні і мобільні.

Стаціонарні транспортери — ковшові, стрічкові, скребкові, тросошайбові, шнекові, гідравлічні, пневматичні — застосовуються для переміщення вантажів у тваринницьких приміщеннях, кормоцехах, молочних, зерноочисних пунктах, зерносховищах та інших складах.

Мобільні засоби — електрифіковані візки, кормороздавачі, штабелери, навантажувачі, вагонетки, кран-балки, талі, підйомні крани тощо — застосовуються у тваринницьких приміщеннях, виробничих цехах, на складах, у сховищах, на будівельних майданчиках та ін.

4.1. ПРИВІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЦІОНАРНИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Технологічні схеми деяких видів транспортерів наведені на рис. 4.1.

Продуктивність транспортерів зростає пропорційно збільшенню частоти обертання привідного вала до певної межі, після чого через зменшення коефіцієнта заповнення продуктивність залишається постійною або навіть зменшується. У деяких випадках, наприклад при транспортуванні гною в тваринницьких приміщеннях, швидкість робочого органу обмежується з міркувань безпеки.

Отже, електропривід повинен забезпечувати стабільність швидкості обертання приводного вала навіть при значних коливаннях навантаження. Таку вимогу повністю забезпечують асинхронні електродвигуни з нормальною механічною характеристикою. Іноді потрібне регулювання швидкості руху транспоруючого органа, наприклад коли транспортер виконує функції дозатора. У таких випадках використовують регульовані електроприводи з двигунами постійного струму.

Швидкість руху транспоруючих органів, як правило, невелика, тому в кінематичну схему привода вводять одну або кілька передач: пасову, клинопасову, редуктор, мотор-редуктор та ін. (рис. 4.2). У зв'язку з цим зведений до вала електродвигуна момент інерції механічної системи визначається в основному моментом інерції ротора електродвигуна.

Теоретично момент статичних опорів при холостому ході транспортерів з підвищенням швидкості обертання двигуна залишається постійним. Його величина знаходиться в межах 0,1 – 0,2 від моменту при номінальному навантаженні. Але у деяких машин (норії, шнекові транспортери) момент при збільшенні швидкості обертання дещо зростає (рис. 4.3, а). Проте у виробничих умовах можливі зупинки і подальші запуски транспортерів під навантаженням. У цьому випадку момент зрушення може бути значним і перевищувати номінальний момент на 30 – 35 %. При зростанні швидкості обертання момент зменшується (рис. 4.3, б). Таку обставину слід враховувати при перевірці електродвигуна за умовами пуску.

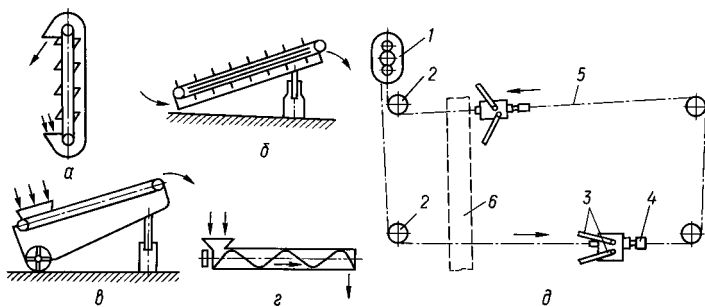


Рис. 4.1. Технологічні схеми стаціонарних транспортерів:

а — норії; б — скребкового; в — стрічкового; г — шнека; д — скреперної установки; 1 — привідна станція; 2 — поворотний пристрій; 3 — скрепери; 4 — натягувальний пристрій; 5 — ланцюг; 6 — поперечний транспортер

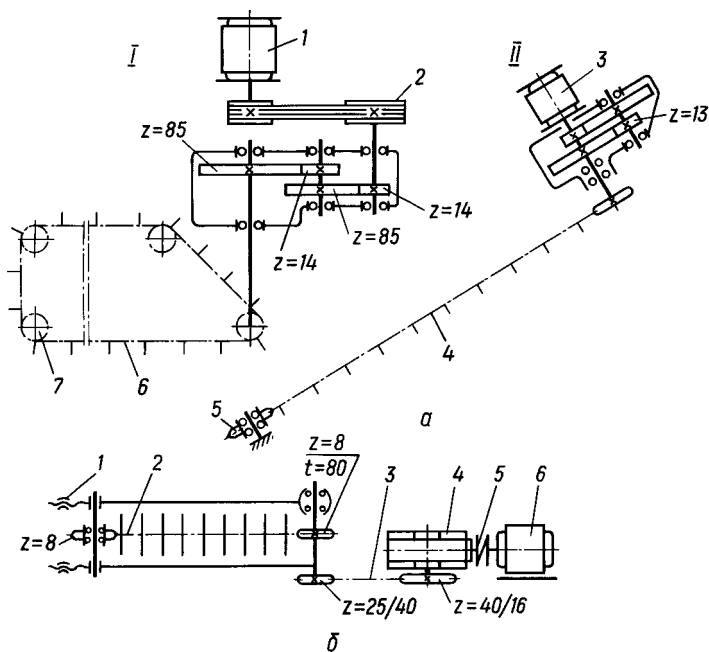


Рис. 4.2. Кінематичні схеми транспортерів:

a — ТСН-160: *I* — горизонтальний транспортер; *II* — похилий транспортер; 1, 3 — електродвигуни; 2 — пас клиновий; 4, 6 — ланцюг із скребками; 5 — обвідна зірочка; 7 — обвідний ролик; *б* — РВК-Ф-74: 1 — натяжний пристрій; 2 — ланцюг із скребками; 3 — ланцюг ПР-25,4-5000; 4 — черв'ячний редуктор; 5 — еластична муфта; 6 — електродвигун

Характер навантажувальних діаграм транспортерів залежить від технологічного процесу, в який вони включені. Відповідно до цього двигуни привода транспортерів можуть працювати у тривалому режимі з постійним або змінним навантаженням, короткочасному або повторно-короткочасному режимам. Коли за умовами технологічного процесу машина може працювати у тривалому і короткочасному або повторно-короткочасному режимам, електропривід розраховують для тривалого режиму роботи.

Продуктивність і споживана потужність для транспортерів з різними робочими органами визначається за різними методиками.

Продуктивність горизонтальних стрічкових транспортерів з плоскою стрічкою Q , кг/с, визначається за виразом

$$Q = \gamma v B^2 \psi \operatorname{tg} \beta, \quad (4.1)$$

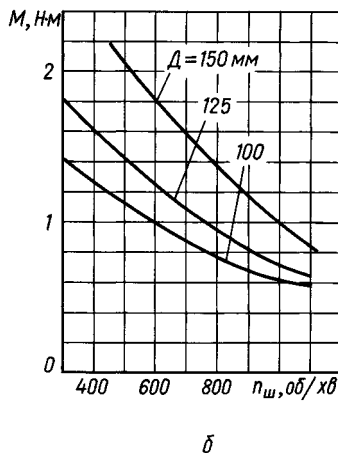
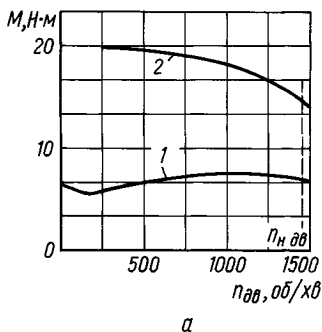


Рис. 4.3. Механічні характеристики:
 а — зернової норії: 1 — при холостому ході; 2 — навантаженої; б — шнека

де γ — об'ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м^3 ; v — швидкість стрічки, м/с ; B — ширина транспортувальної поверхні, м ; ψ — коефіцієнт заповнення несучої поверхні, $\psi = 0,4 - 0,7$; β — кут природного укосу, град.

Для похилих транспортерів продуктивність рекомендується зменшувати при куті $10 - 15$ град на 5% ; $15 - 20$ град — на 10% ; 20 град — на 15% .

Споживана потужність стрічковими транспортерами P , кВт, дорівнює:

$$P = \frac{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4)v}{10^3 \eta_{\text{тр}}}, \quad (4.2)$$

де F_1, F_2, F_3, F_4 — сили опору на різних ділянках транспортера, Н ; v — швидкість руху стрічки, м/с . Залежно від виду транспортованого матеріалу швидкість вибирають: для пшениці, жита, кукурудзи — $3 - 4$; вівса, соняшника — $2 - 3$; подрібненого зерна — $1,2 - 1,5$; борошна — $1 - 1,3$; висівок — $1,5 - 2$; коренеплодів — $0,3 - 0,4$ м/с ; $\eta_{\text{тр}}$ — ККД установки, приймають $0,7 - 0,8$.

Сила опору на прямолінійних ділянках навантаженої вітки F_1 , Н , становить:

$$F_1 = (q + q_0)(\omega \cos \alpha + \sin \alpha)L_{\text{н}}g, \quad (4.3)$$

де q — маса вантажу, що припадає на 1 м довжини навантаженої вітки транспортера, кг/м ; q_0 — маса стрічки, що

припадає на 1 м довжини навантаженої вітки, кг/м; ω — коефіцієнт тяги. Для транспортерів без роликів опор $\omega = 0,2 - 0,25$; з роликівими опорами — $0,02 - 0,03$; α — кут нахилу транспортера до горизонту, градус; L_H — довжина навантаженої вітки транспортера, м; $g = 9,81$ м/с².

Сила опору на прямолінійних ділянках холостої вітки F_2 , Н, дорівнює:

$$F_2 = q_0(\omega \cos \alpha + \sin \alpha)L_x g, \quad (4.4)$$

де L_x — довжина холостої вітки, м.

Сила опору на барабанах і зірочках F_3 , Н, що складається з опору згинання стрічки та опору тертя у підшипниках, становить:

$$F_3 = KBz + (F_{H6} + F_{36} + 9,8m_6) \frac{d}{D} f, \quad (4.5)$$

де K — дослідний коефіцієнт, Н/м, при $D > 0,6$ м $K = 2$, при $D < 0,6$ м $K = 1,5$; z — кількість прокладок у транспортуючій стрічці; F_{H6} — натяг набіжної вітки стрічки, Н; F_{36} — натяг збіжної вітки, Н, $F_{36} \approx 1,05F_{H6}$; m_6 — маса барабана, кг; $\frac{d}{D}$ — відношення діаметра цапфи до діаметра барабана, $0,125 - 0,143$; f — коефіцієнт тертя, для підшипників кочення $f = 0,02$.

Силу опору на криволінійних ділянках стрічки F_4 , Н, визначають за формулою

$$F_4 = F_H \omega_1 \alpha_1, \quad (4.6)$$

де F_H — зусилля в стрічці в точці переходу на криволінійну ділянку, Н; ω_1 — коефіцієнт опору на криволінійних ділянках, $\omega_1 \approx \omega$; α_1 — кут між суміжними прямолінійними ділянками, рад.

Якщо транспортери мають плужкові скидачі, то опір додатково збільшується на величину

$$F_{ск} = 2,7 gqB. \quad (4.7)$$

Продуктивність скребкових транспортерів Q , кг/с, становить

$$Q = K_{\alpha} \psi \gamma B H v, \quad (4.8)$$

де K_{α} — коефіцієнт, що враховує заповнення скребків залежно від кута нахилу транспортера α , град, до горизонту: для легкосипких вантажів $K = 1 - 0,0175\alpha$, для слабкосипких $K = 1,05 - 0,01\alpha$; ψ — коефіцієнт заповнення, $\psi = 0,6 - 0,8$; γ — об'ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м³; B — ширина скребків, м; H — висота скребків, м; v — швидкість руху скребків, м/с. Для коренеплодів $v = 0,25 - 0,5$, для борошнистих кормів і гною — $0,5 - 1,0$; для зерна — $1 - 2,2$ м/с.

Споживана потужність скребковими транспортерами P , кВт, дорівнює

$$P = \frac{9,81Q(H + f_c L \cos \alpha)}{1000\eta_{\Pi}}, \quad (4.9)$$

де H — висота підйому продукту, м; f_c — коефіцієнт опору руху (табл. 4.1); L — довжина транспортера, м; α — кут нахилу транспортера до горизонту, град; η_{Π} — ККД передачі.

4.1. Значення коефіцієнтів опору руху скребкових транспортерів f_c

Тип ланцюга	Продуктивність, кг/с				
	1,25	2,5	5	7,5	10
Втулково-роликівий	2,25	1,7	1,3	1,1	1,05
Гачковий	4,2	3,0	2,25	1,9	1,6

Продуктивність скреперних транспортерів Q , кг/с, визначають так:

$$Q = \frac{m_k \psi}{l/v_B + l/v_{\Pi} + t_p}, \quad (4.10)$$

де m_k — корисна місткість скрепера, кг; l — середня довжина переміщення вантажу, м; v_B і v_{Π} — швидкість руху відповідно завантаженого і порожнього скрепера, м/с; t_p — час, необхідний для реверсування привода, с; ψ — коефіцієнт заповнення скрепера. Для дрібнокускових і вологих вантажів $\psi = 0,9 - 1,2$.

Споживана потужність скреперних установок P , кВт, становить

$$P = \frac{F_c v_c}{1000 \eta_y}, \quad (4.11)$$

де v_c — середня швидкість руху скрепера, м/с; F_c — повний тяговий опір скрепера, Н; η_y — ККД установки.

Опір F_c руху скрепера залежить від маси скрепера і транспортованого матеріалу, коефіцієнтів тертя матеріалу по стінках канавки між матеріалом і скрепером, опору переміщенню тягових канатів і тертя в блоках.

Для скреперної установки, що працює в двох канавках, F_c дорівнює

$$F_c = F_1 + F_2, \quad (4.12)$$

де F_1 — опір руху скреперів під час роботи, Н; F_2 — опір руху, який виникає від попереднього натягу тягового троса, Н.

Вони визначаються відповідно:

$$F_1 = 9,81[2(m_b + m_c)\beta + q_T L_T f_T], \quad (4.13)$$

де m_b — маса порції транспортованого матеріалу, кг; m_c — маса скрепера, кг; $\beta = 1,8 - 2,0$ — загальний опір переміщення гною і скрепера; q_T — маса одного метра троса, кг; L_T — довжина троса, м; $f_T = 0,5 - 0,6$ — коефіцієнт тертя троса по дну канавки;

$$F_2 = \frac{F_1}{e^{\mu\alpha - 1}}, \quad (4.14)$$

де μ — коефіцієнт тертя троса по ролику, $\mu = 0,1 - 0,2$; α — кут обхвату ролика тросом, град.

При виборі двигуна для привода скреперної установки враховують характер зміни навантаження протягом циклу та кількість циклів за годину.

Продуктивність **ковшових елеваторів (норій)** Q , кг/с, становить

$$Q = \psi \frac{i}{l} v \gamma, \quad (4.15)$$

де ψ — коефіцієнт наповнення ковшів. Для зерна $\psi = 0,75 - 0,9$; продуктів помелу — $0,33$; у похилих норій коефіцієнт наповнення більший на $10 - 20 \%$; i — вантажна місткість одного ковша, кг; l — відстань між ковшами, м; v — швидкість руху ковшів, м/с. Для зерна $v = 2 - 4$; для борошна — $1 - 1,5$; для коренеплодів — $0,3 - 0,5$ м/с; γ — об'ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м³.

Потужність, споживана норією у тривалому режимі роботи, P , кВт, дорівнює

$$P = \frac{9,81QH}{1000\eta_H}, \quad (4.16)$$

де H — висота підйому матеріалу, м; η_H — ККД норії. Для вертикальної $\eta_H = 0,5 - 0,7$; для похилої — $0,3 - 0,4$.

Продуктивність шнекових транспортерів Q , кг/с, розраховується за виразом

$$Q = 0,25\pi(D^2 - d^2)sn_{ш}\gamma k_v\psi C, \quad (4.17)$$

де D — зовнішній діаметр гвинта, м; d — діаметр вала гвинта, м; s — крок гвинта, м; $n_{ш}$ — частота обертання вала шнека, об/с; γ — об'ємна маса матеріалу, кг/м³; k_v — коефіцієнт відставання коллової швидкості матеріалу від осової швидкості твірної шнека, що залежить від вантажу та швидкохідності шнека, $k_v = 0,6 - 0,9$, при цьому більше значення вибирають для швидкохідних шнеків; ψ — коефіцієнт заповнення гвинта. Приймається для зерна $0,25 - 0,35$; борошна — $0,25 - 0,30$; коренеплодів — $0,4$; напіврідких кормових сумішей — $0,9 - 1,0$; гною — $0,6 - 0,8$; C — коефіцієнт зниження продуктивності при збільшенні кута α нахилу шнека до горизонту:

α , град.	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
$^{\circ}C$	1	0,9	0,8	0,71	0,65	0,58	0,52	0,48	0,44	0,39	0,34	0,3

Потужність, споживана шнеком P , кВт, визначається за формулою

$$P = \frac{9,81KQ(Lf_c + H)}{1000\eta_H}, \quad (4.18)$$

де K — коефіцієнт, що враховує кут α нахилу шнека до горизонту,

α , град.	20	25	30	35	40	45	90
K	1	1,05	1,13	1,2	1,32	1,4	2,5

L — довжина шнека, м; f_c — коефіцієнт опору переміщенню матеріалу по кожуху: для зерна, продуктів помелу, кормів — 1,2; для гною — 2,5 – 4,0; H — висота підйому матеріалу, м; η_{Π} — ККД передачі.

Продуктивність тросошайбових транспортерів Q , кг/с, дорівнює:

$$Q = \gamma F v K_1 K_2, \quad (4.19)$$

де γ — об'ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м³; F — площа “живого” перерізу трубопроводу, м²; $v = 0,1 - 0,4$ м/с — швидкість транспортування; $K_1 = 0,8 - 0,9$ — коефіцієнт заповнення жолоба; $K_2 = 1,05 - 1,1$ — коефіцієнт, що враховує ущільнення матеріалу.

Площу “живого” перерізу трубопроводу знаходять за виразом

$$F = 0,25\pi(D^2 - d^2), \quad (4.20)$$

де D — внутрішній діаметр трубопроводу, м, $D = 0,025 - 0,03$ м; d — діаметр троса, м.

Потужність, споживана тросошайбовим транспортером, P , кВт, становить

$$P = \frac{9,81Q(H + L_B f_B + L_G f_G)}{1000\eta_{\Pi}}, \quad (4.21)$$

де H — висота підйому продукту, м; L_B, L_G — сумарна довжина труб відповідно на ділянках вертикального і горизонтального переміщень, м; η_{Π} — ККД передачі.

Пневматичні транспортери широко використовують для переміщення сипких матеріалів у різних галузях народного господарства. У сільському господарстві вони транспортують зерно, борошно, комбікорми, тирсу, подрібнені сіно, солому, полуво тощо.

За принципом дії пневмотранспортери поділяють на всмоктувальні, нагнітальні і змішані (рис. 4.4).

Всмоктувальні транспортери використовують для переміщення вантажів на невеликі відстані. Вони працюють при розрідженні 10 – 50 кПа, яке створюється вентиляторами, повітродувками, вакуумними насосами.

Нагнітальними транспортерами транспортують вантажі на відстані до 3600 м. Для створення потоку повітря використовують вентилятори низького, середнього або високого тиску, а при напорах більше 15 кПа — турбонасоси або компресори.

У змішаних транспортерах матеріал засмоктується через всмоктувальний трубопровід, проходить через вентилятор і далі транспортується через нагнітальну трубу. Енергетичні показники таких транспортерів дуже низькі.

Розрахунок транспортера з трубою постійного діаметра провадять у такій послідовності:

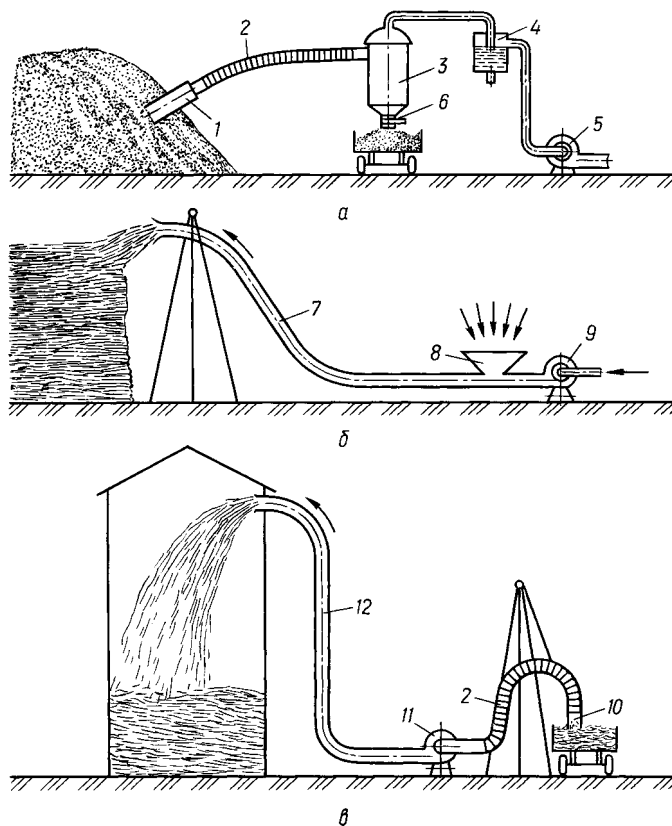


Рис. 4.4. Технологічні схеми пневматичних транспортерів:

a — всмоктувального; *б* — нагнітального; *в* — змішаного; 1, 10 — сопла; 2 — гнучкі трубопроводи; 3 — розвантажувач; 4 — фільтр; 5, 9, 11 — вентилятори; 6 — затвор; 7, 12 — нагнітальні трубопроводи; 8 — завантажувальна воронка

1. Знаходять оптимальну швидкість повітря в трубопроводі v_{Π} , м/с:

$$v_{\Pi} = \alpha v_0, \quad (4.22)$$

де α — коефіцієнт, що залежить від складності траси, концентрації суміші і фізико-механічних властивостей вантажу: для зерна — 1,25 – 2,5; колосків і збоїн — 1,5 – 3,7; соломи і сіна — 1,5 – 2,5. При горизонтальних повітропроводах оптимальне значення коефіцієнта α при мінімумі енерговитрат становить 1,38; v_0 — швидкість ширяння матеріалу в трубопроводі, м/с (табл. 4.2).

4.2. Швидкість ширяння матеріалів, переміщуваних пневмотранспортерами

Матеріал	Швидкість ширяння, м/с	Матеріал	Швидкість ширяння, м/с
Борошно, тирса	7,5 – 8,1	Просо	8,2 – 9,5
Горox лущений	11 – 12	Полова	0,67 – 3,1
Гречка	8,5 – 9,5	Пшениця	9,8 – 11
Жито	8,4 – 10	Пісок, добриво	17 – 20
Крупа:		Силос при $w = 72 - 82 \%$	8 – 20
вівсяна	7,6 – 8,5	Солома	6,4 – 8,7
перлова	10 – 12	Солома різана	
пшоно	8,3 – 9,5	до 100 мм	
Кукурудза, квасоля	12 – 13,5	завдовжки	3,5 – 4,25
Овес	7 – 7,5	Соя	14,8 – 15,5
Насіння соняшника	7,3 – 8,4	Цемент	0,22 – 0,34
Насіння льону	4,5 – 5,2	Ячмінь	9 – 10,5

2. Витратна концентрація суміші μ_B , кг/кг, становить

$$\mu_B = 2530 \frac{v_{\Pi}}{G_M}, \quad (4.23)$$

де G_M — продуктивність установки за транспортованим матеріалом, кг/год.

3. Витрата повітря на транспортування G_{Π} , кг/год, дорівнює

$$G_{\Pi} = \frac{G_M}{\mu_B}. \quad (4.24)$$

4. Продуктивність вентилятора Q_B , м³/год, розраховують за формулою

$$Q_B = \frac{G_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}}, \quad (4.25)$$

де γ_{Π} — об'ємна маса повітря, кг/м³, величина якої залежить від температури t повітря та тиску в трубопроводі:

$$\gamma_{\Pi} = K \frac{342}{273 + t}. \quad (4.26)$$

При атмосферному тиску $K = 1$; при підвищеному тиску в напірному трубопроводі $K = 1,3 - 1,6$; при розрідженні у всмоктувальному трубопроводі $K = 0,67 - 0,8$.

5. Діаметр труби D , м, визначають так:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{D_{\text{в}}}{3600 v_{\Pi}}}. \quad (4.27)$$

6. Гідравлічний опір транспортуючого трубопроводу H , Па, дорівнює

$$H_{\text{т}} = \frac{\lambda v_{\Pi}^2 \gamma_{\Pi}}{2D} (1 + 4,55 D \mu_{\text{в}}) + \mu_{\text{в}} g \gamma_{\Pi} h, \quad (4.28)$$

де $\lambda = \frac{0,0042}{G_{\Pi}^{0,1}}$ — коефіцієнт опору тертя в трубопроводі при чистому потоці повітря; l — довжина трубопроводу, м; h — висота підйому вантажу, м.

За розрахованими параметрами $Q_{\text{в}}$ і $H_{\text{т}}$ вибирають вентилятор і знаходять потужність привідного двигуна P , кВт:

$$P_{\text{дв}} = \frac{Q_{\text{в}} H_{\text{т}}}{3600 \eta_{\text{в}} \eta_{\Pi}} 10^{-3}, \quad (4.29)$$

де $\eta_{\text{в}}$, η_{Π} — ККД відповідно вентилятора і передачі.

При наявності на трубопроводі сопел і розвантажувачів у розрахунок $H_{\text{т}}$ вносять корективи на втрати тиску в місцевих опорах.

4.1.1. АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАЦІОНАРНИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Більшість стаціонарних транспортерів входять до складу потокових ліній, і система керування ними є складовою частиною загальної схеми керування потоковою лінією (наприклад, в агрегатах типу АВМ, ЗАВ, КЗС, кормоцехах, дробарках ДКМ-5 та ін.).

Елементами автоматизації стаціонарних транспортерів є блокування послідовності пуску і зупинки, блокування, що контролюють цілість транспортуючого органу (стрічки, ланцюга тощо), кінцеві та шляхові вимикачі, реле часу та програмні пристрої, регулятори подачі транспортованого про-

дукту, апарати захисту від коротких замикань і перевантажень.

Для запобігання завалу завантажувальної головки зернової норії при її аварійній зупинці схемами керування передбачають автоматичний пристрій, який керує засувкою завантажувального вікна. Після вимикання двигуна норії пристрій закриває засувку, що припиняє надходження зерна до ковшів.

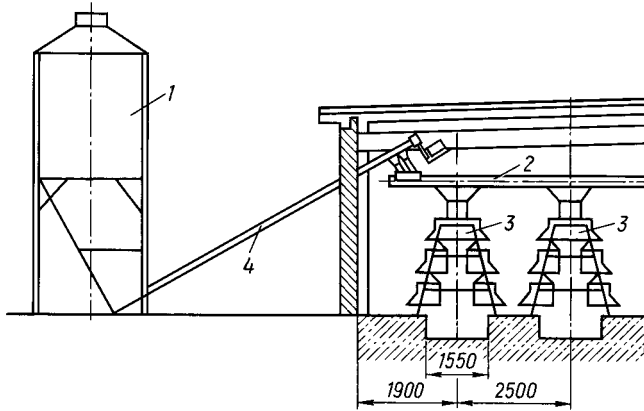
Двигуни привода транспортерів працюють при повному завантаженні, тому обрив фази призводить до їх зупинки. Для надійного захисту двигунів від перегрівання передбачають тепловий або температурний захист.

Автоматизація роздавача кормів РВК-Ф-74. Транспортёр РВК-Ф-74 призначений для роздавання кормів на фермах великої рогатої худоби. Складається з робочого органу, кормового жолоба, натяжної станції, привода та шафи керування. Робочим органом є стрічка з прикріпленням до неї каналом і круглоланковим ланцюгом або ланцюг та скребкове полотно, розміщене на половині замкненого контуру. Привід складається з рами, на якій розміщена привідна станція, і кінцевих вимикачів. Передача крутного моменту від двигуна до робочого органу здійснюється через редуктор і ланцюгову передачу.

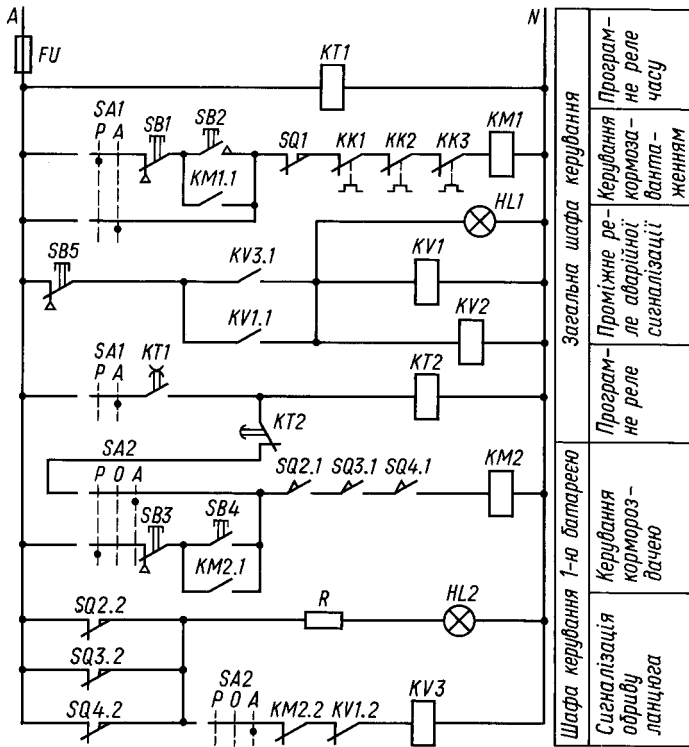
Робочий процес відбувається так. Корм завантажується мобільним коромороздавачем у бункер, вмикається привід робочого органу, який переміщує його вздовж кормового жолоба. При повному переміщенні робочого органу вздовж фронту годівлі привід зупиняється за командою кінцевого вимикача. Перед початком наступної годівлі робочий орган вмикають на зворотний рух, при цьому залишки корму скидаються спеціальним скребком у приямок. Коли робочий орган досягає вихідного положення, привід автоматично вмикається.

Схемою керування транспортером-роздавачем передбачено реверсивне керування двигуном привода з двох місць, автоматичну зупинку в кінцевих положеннях, звукову сигналізацію перед кожним пуском, світлову сигналізацію про наявність напруги живлення, захист від коротких замикань і перевантажень, електричне блокування пускача.

Для пуску двигуна *M* (рис. 4.5) вмикають автоматичний вимикач *QF* і натискають кнопку *SB2.2* або *SB3*, подаючи живлення на котушку реле часу *KT1*. Реле *KT1* контактом *KT1.2* без витримки часу вмикає дзвінок, а через певний час контактом *KT1.1* вмикає контактор *KM1.1*. Останніми головними контактами вмикає двигун у мережу, а допоміжними



a



b

Рис. 4.6. Електропривід кормороздачі кліткових батарей БКМ-3:
 а — технологічна схема; б — принципіальна електрична схема; 1 — бункер; 2 — горизонтальний транспортер; 3 — лінії годівниці; 4 — похилий транспортер

того як корм повністю заповнить бункер першої батареї і закрие вивантажувальне вікно в коробі вивантажувального транспортера, він починає транспортуватися до бункера другої батареї і завантажувати його аналогічно попередньому. При заповненні останнього бункера лінія завантаження корму автоматично вимикається. Приводи кормороздавальних ланцюгів вмикаються вручну кнопками або автоматично за командою програмного пристрою.

Принципальну електричну схему керування завантаження бункерів всіх кліткових батарей БКМ-3 і кормороздачею першої батареї наведено на рис. 4.6, б. Схеми керування кормороздачею у всіх інших батареях аналогічні першій. Апарати лінії кормозавантаження (*КТ1*, *КМ1*, *КВ2*, *КТ2*, *НЛ1*) знаходяться в загальному ящику керування. Апарати керування лінією кормороздачі (для першої батареї — *КМ2*, *КВ3*, *НЛ2*) розміщені в ящику керування відповідної батареї. У коло керування пускатчем *КМ1*, який вмикає і вимикає всі електродвигуни лінії завантаження кормів, увімкнені контакти теплових реле *КК1* – *КК3* електродвигунів похилого і горизонтального транспортерів.

Для роботи в ручному режимі перемикачі *SA1* і *SA2* ставлять у положення “Р”. Транспортери кормозавантаження вмикають кнопкою *SB2*. Вимикається двигун транспортера після заповнення бункера останньої батареї кінцевим вимикачем *SQ1* або натисканням кнопки *SB1*. Двигун кормороздачі першої батареї вмикається і вимикається натисканням кнопок *SB4* і *SB3*.

При обриві ланцюга кормороздачі двигун його привода вимикається контактами вимикачів обриву ланцюга *SQ2.1* – *SQ4.1*, а контактами *SQ2.2* – *SQ4.2* вмикаються сигнальні лампи в ящику керування батареєю та залі.

В автоматичному режимі перемикачі *SA1* і *SA2* ставлять у положення “А”. Механізми кормозавантаження вмикаються і вимикаються контактом кінцевого вимикача *SQ1*, що розміщений на бункері останньої кліткової батареї. При його заповненні подається команда на зупинку двигунів транспортерів.

Команди на вмикання транспортерів кормороздачі подаються від програмного пристрою *КТ1*, наприклад реле часу типу 2РВМ відповідно до технологічних режимів годівлі. При замиканні контакту *КТ1* через розмикаючий контакт *КТ2* другого програмного реле відбувається автоматичний запуск двигунів кормороздачі всіх кліткових батарей. Витримка часу реле *КТ2* дорівнює тривалості кормороздачі батареї.

У випадку обриву ланцюга кормороздачі на будь-якому ярусі кліткової батареї перемикаються контакти одного з кінцевих вимикачів $SQ2 - SQ4$. Замикаючий контакт розмикається і пускач $KM2$ вмикає двигун ланцюгового транспортера, а через розмикаючий — вмикається реле $KV3$. Контакт $KV3.1$ замикає коло обмоток реле $KV1$ і $KV2$, які своїми контактами вмикають сигнальну лампу $HL1$ в залі та лампу сигналізації батарей (на схемі не показана). Для зняття сигналу в залі перемикач $SA2$ ставлять у положення "0" і натискають кнопку $SB5$.

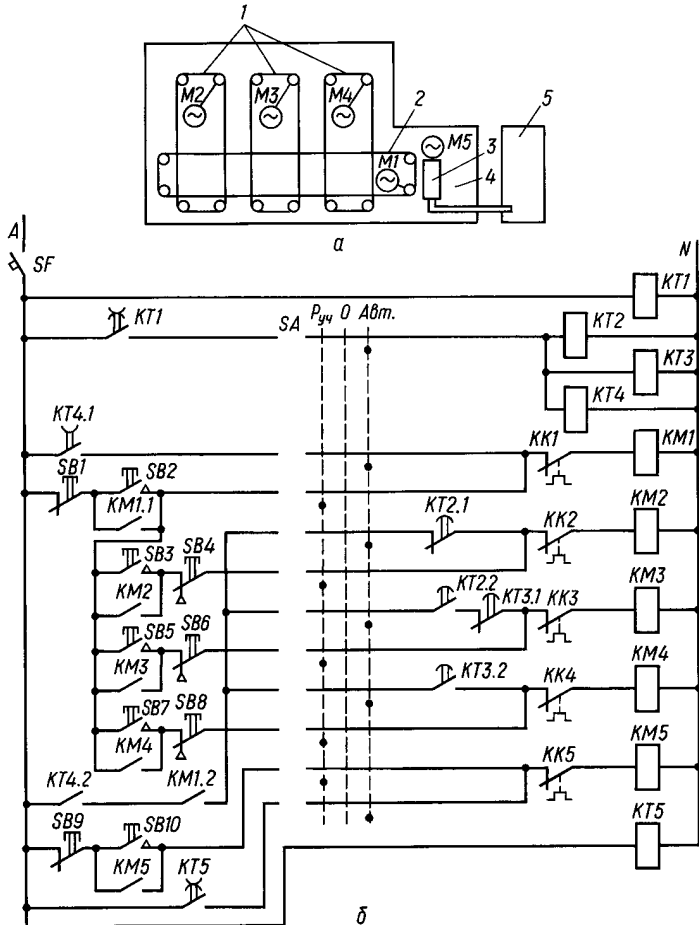


Рис. 4.7. Схема автоматизації потокової лінії прибирання гною:

a — технологічна; b — принципіальна електрична; 1 — поздовжні транспортери; 2 — поперечний транспортер; 3 — поршневий насос; 4 — гноєзбірник; 5 — гноєсховище

Автоматизація потокової лінії прибирання гною. До складу потокової лінії входять три поздовжніх транспортери 1 (рис. 4.7, а), що прибирають гній із зони розміщення тварин, поперечний 2, що транспортує його до гноезбірника 4, і поршневий насос 3, який перекачує гній до гноесховища 5. Привід механізмів здійснюється від асинхронних електродвигунів $M1 - M5$.

Схемою автоматизації передбачено ручне та автоматичне керування двигунами. При ручному керуванні двигуни вмикають і вимикають кнопками $SB1 - SB10$ (рис. 4.7, б). В автоматичному режимі роботою механізмів керують програмні пристрої $KT1$ і $KT5$ та реле часу $KT2 - KT4$. В установлений час програмне реле $KT1$ замикає контакт і вмикає реле часу $KT2, KT3, KT4$. Реле $KT4$ своїми контактами вмикає пускачі $KM1$ двигуна поперечного транспортера і $KM2$ двигуна першого поздовжнього транспортера. Через проміжок часу Δt_1 , достатній для прибирання гною першим поздовжнім транспортером, спрацьовує реле $KT2$, яке вимикає пускач $KM2$ і вмикає пускач $KM3$ двигуна другого поздовжнього транспортера. По закінченні прибирання гною другим поздовжнім транспортером спрацьовує реле часу $KT3$, яке подає команду на вимикання другого і вмикання третього поздовжнього транспортера. Витримка часу реле $KT3$ $\Delta t_2 = 2\Delta t_1$. Через час $\Delta t_3 = 3\Delta t_1$ від початку вмикання програмний пристрій $KT1$ розмикає свій контакт і вимикає реле часу $KT2 - KT4$. Пускач $KM4$ вимикає двигун $M4$ третього транспортера. Через час Δt_4 , достатній для звільнення від гною поперечного транспортера, реле часу $KT4$ вимикає пускач $KM1$. Двигун поршневого насоса $M5$ вмикається і вимикається пускачем $KM5$ за командами програмного пристрою $KT5$.

Захист силових кіл і кіл керування здійснюється автоматичними вимикачами, захист електродвигунів від перевантажень — тепловими реле $KK1 - KK5$.

4.2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

До вантажопідйомних машин відносять підйомні крани, кран-балки, талі, лебідки. За характером технологічного процесу вони є машинами циклічної дії. Спільним для цих установок є режим роботи, при якому технологічний процес складається з ряду повторюваних однотипних циклів, кож-

ний з яких є закінченою операцією завантаження робочого органу, переміщення його з вихідної точки в пункт призначення і розвантаження.

Основними механізмами вантажопідйомних машин є механізми підйому і пересування (повороту) (рис. 4.8).

Сили тертя в кранових механізмах обумовлюють реактивні моменти, а сили тяжіння мас, що рухаються вертикально або похило — активні. При цьому зведений до вала двигуна статичний момент M_c є алгебраїчною сумою моменту M_B , обумовленого вагою переміщуваного вантажу, і моменту втрат на тертя M_T (рис. 4.9). Момент M_B залежить від величини рухомих мас (вантажів та вантажозахватного пристрою), момент M_T — від ККД кінематичних ланок механізму, який у свою чергу є функцією ваги вантажу. При номінальному завантаженні $G_{\text{ном}}$ величини ККД визначаються за довідковими даними. При завантаженні G , меншому за номінальне, ККД можна визначити за експериментальними кривими, наведеними на рис. 4.10.

У рух механізми приводяться, як правило, реверсивним електроприводом, розрахованим для роботи в повторно-короткочасному режимі. У кожному циклі є неусталені режими роботи електропривода: пуски, реверси, гальмування, що суттєво впливають на продуктивність механізму, динамічні навантаження привода і механізму, ККД установки, нагрівання двигунів.

Стандартами встановлені такі режими роботи механічного і електричного обладнання кранових механізмів: легкий — Л ($ТВ_{\text{ном}} = 15 - 25\%$, кількість вмикань за годину $h \leq 60$ 1/год), середній — С ($ТВ_{\text{ном}} = 25 - 40\%$, $h \leq 120$ 1/год), важкий — В ($ТВ_{\text{ном}} = 40\%$, $h \leq 240$ 1/год) і дуже важкий — ДВ ($ТВ_{\text{ном}} = 60\%$, $h \leq 600$ 1/год).

Для електрообладнання кранів приймають, що час циклу не перевищує 10 хв, а для механізмів — 1 год.

Щоб втрати електроенергії в електродвигунах були меншими, потрібно, щоб зведений до вала двигуна момент інерції системи був невеликим. Робочі швидкості механізмів кранів, що використовуються в сільському господарстві, знаходяться в межах 0,5 – 2 м/с, тому основну частку в зведеному моменті інерції становить момент інерції ротора двигуна. Цим обумовлюються застосування в приводах кранових механізмів двигунів з малими моментами інерції ротора.

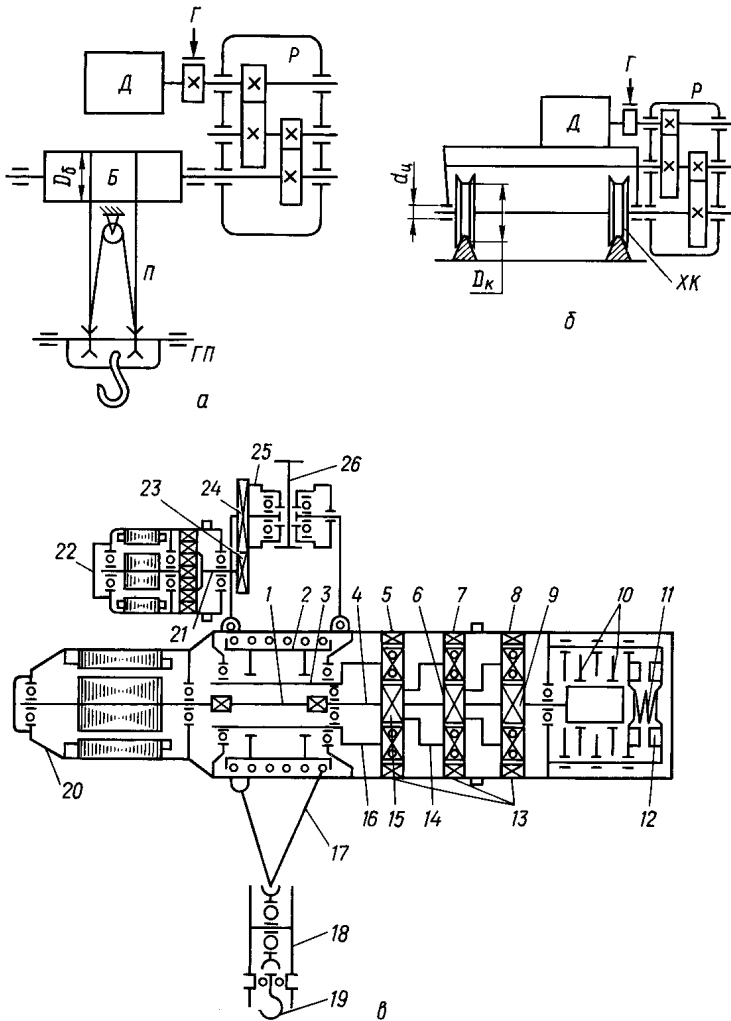


Рис. 4.8. Кінематичні схеми кранових механізмів:

a — однокінцевої підіймної лебідки; *б* — механізму переміщення; *Д* — двигун; *Г* — гальмо; *Р* — редуктор; *Б* — барабан; *П* — поліспаст; *ГП* — гакова підвіска; *ХК* — ходове колесо; *в* — талі ТЗП-1; *1* — проміжний вал; *2* — робочий барабан; *3* — порожнистий вал; *4* — робочий вал; *5, 7, 8* — сателіти; *6, 9, 15* — сонячні шестерні; *10* — гальмівні диски; *11* — гальмівна пружина; *12* — електромагніт; *13* — блочні шестерні; *14, 16, 21* — водила; *17* — канат; *18* — підвіска; *19* — гак; *20* — електродвигун підйому вантажу; *22* — електродвигун переміщення візка; *23, 24* — шестерні; *25* — коток; *26* — монорейка

Кранові двигуни повинні мати велику перевантажувальну здатність, щоб забезпечити: 1) достатній механічний момент при розгоні; 2) необхідний пусковий момент для подолання короткочасних механічних перевантажень, що виникають при відриві вантажів.

Механічні характеристики електроприводів кранових механізмів повинні відповідати вимогам технологічних операцій, що виконує кран:

а) для підйому і опускання вантажів з високою швидкістю характеристики 1 повинні бути жорсткими (див. рис. 4.9);

б) плавний пуск двигуна при реостатному керуванні та роботу на проміжних швидкостях забезпечують м'які характеристики 2;

в) для доводок вантажів при підйомі або спуску з наступною точною зупинкою характеристики 3 повинні бути жорсткими при малих швидкостях;

г) для привода механізмів, що працюють з різними перевантаженнями, наприклад грейферних, використовуються приводи з екскаваторною характеристикою 4;

д) у ряді випадків для механізмів переміщення основною вимогою до механічних характеристик електропривода є підтримання постійного прискорення при розгоні, що забезпечується характеристикою 5.

За розглянутими графіками можна вибрати тип привода для забезпечення потрібного набору характеристик. Набори 1 і 2 забезпечуються асинхронним електродвигуном з фазним ротором при реостатному регулюванні роторного кола. Характеристики 1, 2 і 3 мають приводи з двигуном по-

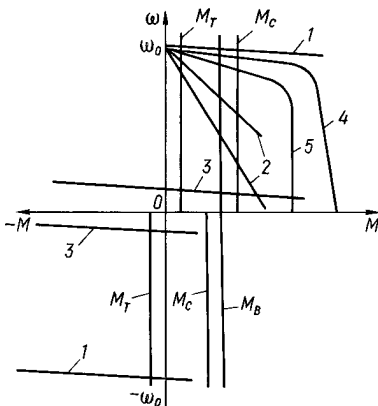


Рис. 4.9. Механічні характеристики електроприводів кранових механізмів

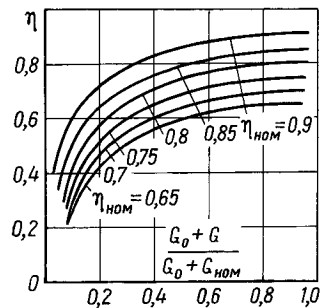


Рис. 4.10. Залежність ККД механізму від величини навантаження

стійного струму паралельного збудження при реостатному регулюванні (2) та шунтуванні якоря (3). Набори 1, 3, 4 забезпечують складні приводи, наприклад асинхронний двигун з фазним ротором і дроселями насичення в колі статора, або електропривід постійного струму, що живиться від генератора чи тиристорного перетворювача.

Вантажопідйомні машини працюють у різних умовах навколишнього середовища — запилених, вологих приміщеннях, на відкритому повітрі, в умовах різких змін температури. Для забезпечення високої експлуатаційної надійності це необхідно враховувати при виборі електрообладнання за ступенем захищеності від дії навколишнього середовища.

4.2.1. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Вихідними даними для вибору електропривода кранових механізмів є: вантажопідйомність, робоча швидкість вантажу, допустиме прискорення, число вмикань за годину, тривалість вмикання, кінематична схема і маса механічного обладнання, використання за вантажопідйомністю і часом, діапазон регулювання швидкості і необхідна жорсткість характеристики (особливо при посадці вантажу), умови навколишнього середовища.

Із теорії електропривода відомо, що електродвигун за потужністю вибирається в кілька етапів. Спочатку за навантажувальною діаграмою робочої машини вибирається двигун, а потім перевіряється методом середніх втрат або еквівалентних величин. При попередньому виборі слід враховувати особливості конкретного механізму. Для кранових механізмів найхарактернішими є три випадки попереднього вибору двигуна:

1. Цикл роботи механізму заданий, причому динамічні навантаження мають незначний вплив на нагрівання двигуна.
2. Цикл роботи механізму заданий і відомо, що динамічні навантаження суттєво впливають на нагрівання двигуна.
3. Цикл роботи механізму завданням не визначений.

Перший випадок характерний для механізмів з малими інерційними масами — однокінцевих підйомних і тягових лебідок. Вплив динамічних навантажень на нагрівання двигуна можна визначити шляхом порівняння тривалості пуску t_{Π} з тривалістю усталеного режиму t_y . Якщо $t_{\Pi} \ll t_y$, потужність двигуна можна вибрати за навантажувальною діаграмою виконавчого механізму.

Наприклад, за діаграмою, наведеною на рис. 4.11, знаходять еквівалентний момент навантаження:

$$M_{c.e} = \sqrt{\frac{M_{c.п}^2 t_{п} + M_{c.оп}^2 t_{оп}}{t_{п} + t_{оп}}}, \quad (4.30)$$

де $M_{c.п}$, $M_{c.оп}$ — моменти статичних опорів відповідно при підніманні і опусканні вантажу, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $t_{п}$, $t_{оп}$ — тривалість часу відповідно піднімання і опускання, с.

Фактична відносна тривалість вмикання ТВ_{ϕ} , %, становить

$$\text{ТВ}_{\phi} = \frac{t_{п} + t_{оп}}{t_{п} + t_{оп} + t_{01} + t_{02}} 100, \quad (4.31)$$

де t_{01} , t_{02} — тривалість пауз, с.

Зведені до вала двигуна моменти статичних опорів M_c , $\text{Н} \cdot \text{м}$, дорівнюють:

а) при підніманні вантажу

$$M_c = \frac{9,81(m + m_0)D_6}{2i\eta}, \quad (4.32)$$

б) при опусканні вантажу

$$M_c = \frac{9,81(m + m_0)D_6\eta}{2i}, \quad (4.33)$$

де m , m_0 — відповідно маса вантажу і вантажозахватних пристроїв, кг; D_6 — діаметр барабана, м; i — передаточне число редуктора і поліспасти; η — ККД підйомного механізму.

При горизонтальному переміщенні зведений момент статичних опорів визначається за виразом

$$M_c = \frac{9,81k(m + m_1)(\mu + fr)}{i\eta}, \quad (4.34)$$

де k — коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс об рейки; m — маса вантажу, кг; m_1 — маса механізму, що переміщу-

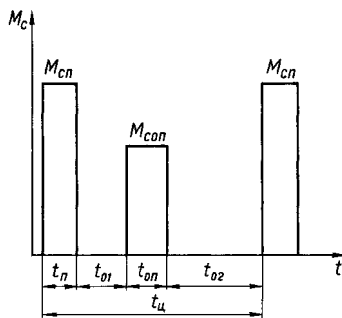


Рис. 4.11. Навантажувальна діаграма підйомного механізму крана

ється, включаючи m_0 , кг; μ — коефіцієнт тертя кочення ходових коліс візка об рейки, м.

Залежно від діаметра ходового колеса, його матеріалу та типу рейки $\mu = (0,3 - 1,4)10^{-3}$ м; r — радіус шийки осі колеса, м; f — коефіцієнт тертя в підшипниках (0,08 для підшипників ковзання, 0,01 – 0,02 — для підшипників кочення); i — передаточне число механізму переміщення; η — ККД механізму переміщення.

Якщо підйомно-транспортний механізм рухається по похилому шляху і сприймає вітрові навантаження, то момент на валу двигуна становить

$$M_c = \frac{9,81(m + m_1)(\mu + fr)}{i\eta} (\sin \alpha + k \cos \alpha) + \frac{F(S_M + S_B)R}{i\eta}, \quad (4.35)$$

де α — кут уклону колії до горизонту, град; F — питоме вітрове навантаження, Н/м²; S_M, S_B — площі підвітряних сторін відповідно машини і вантажу, м²; R — радіус ходового колеса, м.

Необхідна потужність двигуна визначається за виразом

$$P_{дв} = K_3 M_{с.е} \omega_{дв}, \quad (4.36)$$

де $K_3 = 1,1 - 1,5$ — коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних навантажень. Величина K_3 залежить від відношення t_{II} / t_y . Із збільшенням t_{II} / t_y коефіцієнт K_3 збільшують орієнтовно, враховуючи, що при $t_{II} / t_y < 0,05$ слід брати менше значення, а при $t_{II} / t_y > 0,2 - 0,3$ — більше; $\omega_{дв}$ — кутова швидкість обертання двигуна, рад/с, що визначається за формулою

$$\omega_{дв} = \frac{2v_p i}{D_6}, \quad (4.37)$$

де v_p — робоча швидкість вантажу, м/с.

З каталогу вибирається двигун за умовами:

$$\left. \begin{aligned} P_{дв.ном} &\geq P_{дв} \\ ТВ_{ст} &\geq ТВ_{ф} \end{aligned} \right\}, \quad (4.38)$$

де $TВ_{ст}$ — стандартна тривалість вмикання вибраного двигуна, %.

При значній різниці між $TВ_{ст}$ і $TВ_{ф}$ потужність двигуна вибирають за виразом

$$P_{дв.ном} \geq P_{дв} \sqrt{\frac{TВ_{ф}}{TВ_{ст}}}. \quad (4.39)$$

Вибраний електродвигун перевіряється на нагрівання під час пуску одним із відомих з курсу теорії електропривода методів, а також на перевантажувальну здатність за умовою

$$M_{max} = M_{ст1} + M_{дин} \leq M_{доп}, \quad (4.40)$$

де $M_{ст1}$ — найбільший момент статичного навантаження за навантажувальною діаграмою, зведений до вала електродвигуна, Н · м; $M_{дин}$ — динамічний момент при пуску, Н · м; $M_{доп}$ — допустимий момент короткочасного перевантаження двигуна Н · м.

Динамічний момент при пуску створюється двома складовими — моментом інерції мас, що рухаються поступально, і тих, що обертаються:

$$M_{дин} = M_{дин.пос} + M_{дин.об} = \frac{\sum m D_6^2 \omega_{дв}}{2i^2 t_{п} \eta} + \frac{J_{зв} \omega_{дв}}{t_{п}}, \quad (4.41)$$

де $\sum m$ — сума мас, що рухаються поступально, кг; $t_{п}$ — час пуску двигуна до усталеної швидкості, с; $J_{зв}$ — зведений до вала двигуна момент інерції вузлів, що обертаються, кг · м².

Вибраний двигун перевіряється також на допустиме прискорення:

$$a_{доп} \geq \frac{v_p}{t_{п}}, \quad (4.42)$$

де $a_{доп}$ — допустиме прискорення, що при легкому і середньому режимах не перевищує 0,15 м/с², а при важкому — 0,35 м/с².

Другий випадок характерний для механізмів з великими інерційними масами — важких і швидкохідних механізмів переміщення і повороту, але може бути і в інших випадках при великій частоті вмикань. При цьому для попереднього

вибору необхідно побудувати навантажувальну діаграму двигуна, задавшись його моментом інерції по аналогії з діючими установками. Якщо $J_{\text{дв}} \ll J_{\text{мех}}$, помилка в значенні $J_{\text{дв}}$ суттєво не вплине на вірність вибору і, крім того, необхідні уточнення дасть наступний перевірений розрахунок.

Третій випадок характерний для механізмів універсального призначення, для яких побудувати конкретний цикл роботи важко. Наприклад, для механізмів мостового крана невеликої вантажопідйомності, який може використовуватися в різних виробничих приміщеннях. Основою для вибору двигуна в таких випадках може бути розрахунковий цикл, при якому на першій робочій ділянці t_{p1} двигун працює з максимальним навантаженням M_{c1} , а на другій t_{p2} — з мінімальним M_{c2} . Якщо допустити, що $t_{p1} = t_{p2}$ і відомо, що вплив динамічних навантажень на нагрівання двигуна невеликий, можна знайти еквівалентний за нагріванням момент навантаження за формулою

$$M_e = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 + M_{c2}^2}{2}}. \quad (4.43)$$

Потрібна потужність двигуна при відомій робочій швидкості ω_p становить

$$P_{\text{дв}} = k_3 M_e \omega_p. \quad (4.44)$$

Орієнтовно тривалість роботи, s , можна визначити, якщо відомий режим роботи механізму, з рівняння

$$t_{p1} = t_{p2} = \frac{3600 \text{ТВ}_{\text{ст}}}{h100}, \quad (4.45)$$

де h — кількість вмикань за годину; $\text{ТВ}_{\text{ст}}$ — стандартна кількість вмикань для даного режиму роботи.

Промисловість виготовляє ряд серій електродвигунів для привода кранових механізмів:

- двигуни постійного струму серії Д потужністю від 2,5 до 185 кВт при $\text{ТВ} = 40\%$. Двигуни мають широкий діапазон регулювання швидкості обертання, допустиму кількість вмикань за годину до 2000, переважувальну здатність по струму до $3I_{\text{ном}}$ та відносно малий момент інерції якоря;

- асинхронні кранові одношвидкісні з короткозамкненим ротором серії МТК F потужністю 1,4 – 22 кВт при $\text{ТВ} = 40\%$;

- асинхронні дво- і тришвидкісні серії *МТКF* з числом полюсів 4/12, 4/24, і 4/8/24 номінальною потужністю від 4 до 45 кВт при $TB = 25 \%$;

- асинхронні з фазним ротором серії *МТF* шести- і восьмиполюсні номінальною потужністю від 1,4 до 22 кВт при $TB = 40 \%$;

- асинхронні з короткозамкненим і фазним ротором серії 4MT, чотири-, шести- і восьмиполюсні з номінальними потужностями 5,5 – 35 кВт при $TB = 40 \%$.

Характерною особливістю двигунів з короткозамкненим ротором є те, що кратність пускового і максимального моментів рівні між собою і знаходяться в межах від 1,8 до 2,8. Для зменшення втрат потужності в обмотках статора у перехідних режимах двигуни мають підвищене номінальне ковзання. З метою зниження моменту інерції ротори подовжені зі зменшеним діаметром.

Для привода кран-балок і талів використовують спеціальні вбудовані трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором типу АИРВС100А4ЭУ1.1 та АИРВС100В12/4ЭУ1.1. Двигуни мають підвищене ковзання та вбудоване електромагнітне гальмо, яке стопорить ротор після вимикання двигуна з мережі.

4.2.2. АВТОМАТИЗАЦІЯ КРАНОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Електрообладнання кранів повинно забезпечувати надійну високопродуктивну і безпечну роботу. Системи керування передбачають:

- реверсивне керування електродвигунами;
- регулювання швидкості обертання в заданих межах;
- електромеханічне гальмування при зупинках;
- електричне гальмування при роботі на опускання вантажу;
- обмеження ходу вантажозахватного пристрою вгору та пересування моста і візка в обидва боки;
- нульове блокування кіл керування;
- електричні блокування, що запобігають невірному вмиканню апаратів;
- захист від коротких замикань і перевантажень максимальними струмовими реле. У приводах кран-балок і талів передбачають захист тільки від коротких замикань автоматичними вимикачами.

Усі кранові механізми обладнуються гальмами закритого типу, що діють при вимиканні живлення двигуна. Всі не-

струмоведучі металеві частини електрообладнання повинні бути електрично з'єднані з металевою фермою крана, а та, в свою чергу, — з заземлюючим контуром через підкранові рейки.

Електродвигунами талів і кран-балок керують за допомогою реверсивних магнітних пускачів і пускових кнопок, підвішених на гнучкому броньованому кабелі. Напруга до контактів контакторів підйому $КМ1$ (рис. 4.12), спуску $КМ2$, переміщення вперед і назад $КМ3$, $КМ4$ і до кола керування підводиться через автоматичний вимикач QF і кабель або контактні проводи. Для підйому вантажу натискають на кнопку $SB1$, для спуску — на кнопку $SB2$. При цьому спрацьовує контактор $КМ1$ або $КМ2$ і електромагніт YA гальма. Гальмо розстопорює ротор двигуна, який починає обертатися. Після відпускання кнопки контактор вимикається і ротор двигуна гальмується. При натисканні на кнопки $SB3$ або $SB4$ таль рухається вліво або вправо. Рух підйомного пристрою вгору обмежується кінцевим вимикачем $SQ1$, рух талі вліво або вправо — кінцевими вимикачами $SQ2$ або $SQ3$. Блокування контакторів реверсивних пускачів здійснюється двоконтактними кнопками керування, допоміжними розмикаючими контактами контакторів та пристроями механічного блокування пускачів. Замикаючі контакти пускових кнопок не шунтують відповідними замикаючими контактами контакторів, щоб запобігти роботі талі після відпускання оператором підвісної кнопкової станції.

Керування механізмами підйомних кранів здійснюють за допомогою силових контролерів або командоконтролерів.

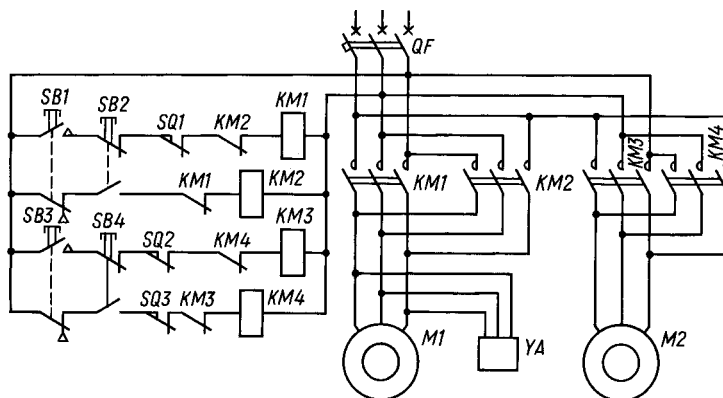


Рис. 4.12. Схема керування електродвигуном талі

Характерні особливості схем керування електроприводами механізмів підйому з асинхронними двигунами з фазним ротором можна вивчити по схемі керування за допомогою командоконтролера типу ТСА (рис. 4.13).

Особливостями схеми є: несиметрична відносно нульового положення діаграма замикань командоконтролера, яка забезпечує при підйомі і опусканні вантажів різні механічні характеристики електропривода відповідно до несиметричного характеру навантаження підйомної лебідки; використання режиму однофазного вмикання двигуна для поліпшення умов регулювання швидкості при опусканні.

Для запуску механізму підйому вмикають рубильник *QS*, а командоконтролер *SA1* ставлять у положення "0". При цьому спрацьовує реле *KV*, яке одним контактом подає напругу на кола керування, а другим — самоблокується. Через випрямляч *VD1* – *VD4* одержує живлення реле часу *KT2*, яке розмикає контакт у колі котушок контакторів прискорення *KMV3* і *KMV4*. При установці контролера в положення 1 "Підйом" вмикаються контактори *KMF*, *KMM*, *KY* і *KM2*. Через головні контакти *KMM* і *KMF* подається напру-

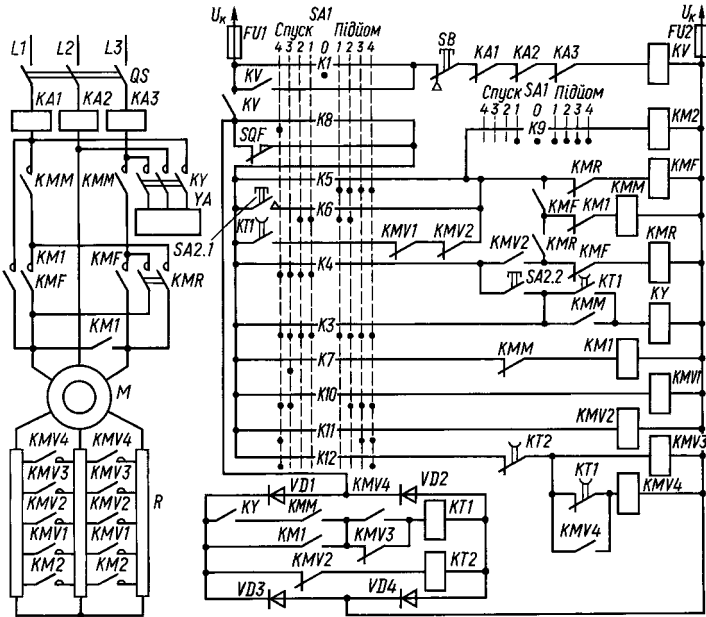


Рис. 4.13. Схема керування електродвигуном підйому крана за допомогою командоконтролера типу ТСА

га на статор двигуна, а контактор KY вмикає електромагніт гальма, який розстопорює ротор. Через контакти KY і KMM , що замкнулися, одержує живлення котушка реле часу $KT1$. Головні контакти контактора противмикання $KM2$ шунтують перший ступінь реостата R у колі ротора двигуна. Таким чином, у положенні 1 “Підйом” двигун працює на характеристиці $1n$ (рис. 4.14).

Перестановкою командоконтролера (див. рис. 4.13) в положення 2, 3 і 4 “Підйом” послідовно вмикають контактори прискорення $KMV1 - KMV4$, які головними контактами шунтують відповідні ступені реостата R , і двигун працює на регульовальних характеристиках $2n$ і $3n$ та на основній характеристиці $4n$. При роботі на основній характеристиці в колі ротора залишається увімкненим невеликий опір, який забезпечує зміну пускового струму ротора в заданих межах при наявній кількості контактів прискорення.

Для опускання вантажу командоконтролер ставлять у положення 3 “Спуск”. Через контакт $K7$ одержує живлення контактор однофазного вмикання $KM1$. Останній головними контактами вмикає двигун за схемою однофазного живлення статора, а допоміжним контактом подає напругу на реле часу $KT1$, яке після цього залишається увімкненим у всіх інших положеннях “Спуск”. Реле $KT1$ вмикає контактори KMF і KY . Електромагніт гальма YA вмикається в мережу, і колідки гальма звільняють гальмівний шків. Через контакт $K10$ одержує живлення контактор прискорення $KMV1$, який головними контактами шунтує частину реостата R . Двигун працює на гальмівній характеристиці $3c$.

При переведенні командоконтролера в положення 2 “Спуск” контактори $KMV1$ і $KM1$ вмикаються, а контактор KMM спрацьовує. Оскільки раніше був увімкнений контактор KMF , статор двигуна вмикається в мережу в напрямку “Підйом” при повністю введеному в коло ротора опорі реостата R . Двигун працює за характеристикою $2c$, яка призначена для гальмівного спуску середніх вантажів у режимі противмикання.

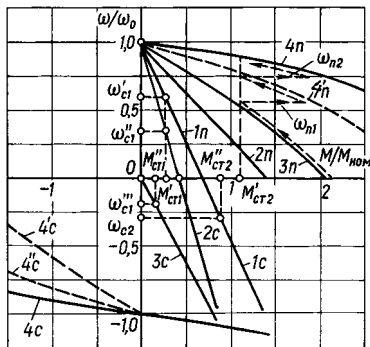


Рис. 4.14. Механічні характеристики електропривода, керованого командоконтролером типу ТСА

Переведенням ручки командоконтролера в положення 1 “Спуск” контактом $K9$ вмикають контактор $KM2$, який головними контактами шунтує ступінь противмикання реостата R . Опір роторного кола зменшується, і двигун переходить на роботу за характеристикою $1c$, необхідною для гальмівного спуску важких вантажів.

Якщо ручку командоконтролера перевести з положення 3 “Спуск” у положення 4 “Спуск”, спрацьовують послідовно контактори $KMV2$, KMR , KMM і KY та знеструмлюється котушка реле часу $KT2$. Двигун спочатку працює за характеристикою $4'c$. По закінченню витримки часу $KT2$ спрацьовує контактор прискорення $KMV3$ і робоча точка переміщується на характеристику $4''c$. Розмикаючий контакт $KMV3$ вмикає струм з котушки реле часу $KT1$, яке з витримкою часу вмикає контактор $KMV4$. Двигун працює за основною характеристикою $4c$, на якій відбувається силовий спуск гака і гальмівний надсинхронний (у режимі рекуперативного гальмування) спуск вантажів з великою швидкістю.

Таким чином, при спусках вантажів реле часу $KT1$ зміщує вихідне робоче положення схеми з нульового положення командоконтролера в положення 3. Це зроблено з такою метою. Наприклад, необхідно опустити невеликий вантаж з моментами статичного навантаження $M'_{ст1}$ при підйомі і $M''_{ст1}$ при спуску. При роботі за характеристикою $2c$ замість спуску вантаж буде підніматися з швидкістю ω'_{c1} . Тільки в положенні 3 “Спуск”, де двигун працює в однофазному режимі, вантаж опускається з невеликою швидкістю ω''_{c1} . Отже, реле $KT1$ запобігає підйому легких вантажів на положеннях командоконтролера “Спуск”.

При важких вантажах $M'_{ст2}$ і $M''_{ст2}$ вмикання привода в положення 3 “Спуск” призведе до швидкого збільшення швидкості спуску (“осідання” вантажу). Щоб цього уникнути, кранівник може до вмикання двигуна натиснути на педаль $SA2$ і вимкнути блокування двох перших положень командоконтролера. Контакт $SA2.1$ готує коло вмикання контактора KMF , обминаючи контакти $KT1$, а $SA2.2$ — коло контактора KY . Тепер при установленні командоконтролера в положення 1 “Спуск” вмикаються контактори KMF , KMM , KY і $KM2$. Двигун працює за характеристикою $1c$ при невеликій швидкості спуску великого вантажу ω_{c2} . Одночасно

контакти *KY* і *KMM* вмикають реле *KT1*, яке залишається увімкненим на всіх положеннях спуску.

Схемою передбачено автоматичний контроль протікання перехідних процесів при пуску і гальмуванні при швидкій перестановці командоконтролера з нульового положення в крайні положення і навпаки. У нульовому положенні командоконтролера реле часу *KT1* знеструмлене, а котушка реле *KM2* — під напругою. Контакт *KT2* розриває коло живлення котушок контакторів прискорення *KMV3* і *KMV4*.

При швидкому переставлянні командоконтролера з положення 0 у положення 4 “Підйом” спрацьовують контактори *KMF*, *KMM*, *KY*, *KM2*, *KMV1* і *KMV2*. Розмикаючий контакт *KMV2* знеструмлює реле часу *KT2*, а через контакти *KY*, *KMM* і *KMY3* одержує живлення котушка реле *KT1*. Двигун запускається за характеристикою $3n$ до швидкості перемикавання ω_{n1} . Після закінчення витримки часу реле *KT2* його контакт замикається, спрацьовує контактор *KMV3* і двигун переходить на проміжну пускову характеристику $4'n$. Розмикаючий контакт *KMV3* знеструмлює реле часу *KT1*, яке починає відлік часу, достатній для прискорення двигуна до другої швидкості перемикавання ω_{n2} . Після відпускання реле *KT1* контактор *KMV4* спрацьовує і головними контактами шунтує останній пусковий ступінь реостата *R*. Двигун переходить на основну характеристику і розганяється до ustalеної швидкості. Контактор *KMV4* одним замикаючим контактом самотримається, а другим вмикає котушку реле *KT1*.

Контроль пуску в напрямку спуску відбувається по проміжних пускових характеристиках $4's$ і $4'c$, як показано вище.

При швидкому переставлянні командоконтролера з положення 4 “Спуск” у нульове контактори *KMR*, *KY*, *KMV1* – *KMV4* вмикаються і знеструмлюється котушка *KT1*. Через замкнений протягом певного часу контакт *KT1* одержують живлення котушки контакторів *KM2*, *KMF* і *KMM*. Відбувається гальмування противмиканням при одночасному накладанні механічного гальма. Після закінчення витримки часу реле *KT1* обмотка статора вмикається з мережі. Суміщення механічного та електричного гальмування запобігає “осіданню” вантажу і зменшує спрацювання механічного гальма.

При надмірному підніманні вантажу розмикається контакт кінцевого вимикача *SQF* і знімає напругу з кіл керу-

вання. Для повторного вмикання ручку командоконтролера ставлять у положення 4 “Спуск”, контакт $K8$ шунтує розімкнений контакт вимикача SQF і двигун вмикається в напрямку спуску.

Для аварійного вимикання схеми передбачена кнопка SB .

Захист двигуна від коротких замикань і перевантажень здійснюється струмовими реле $KA1 - KA3$. Кола керування від коротких замикань захищені запобіжниками $FU1$ і $FU2$. Схемою передбачене також нульове блокування, яке виконують паралельно увімкнений контакт $K1$ та реле KV .

5. ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ КОРМОПРИГОТУВАЛЬНИХ МАШИН ТА АГРЕГАТІВ

Підготовка кормів до згодовування складається з таких операцій: очищення від бруду, металевих та інших механічних домішок, подрібнення, термічної і хімічної обробки, пресування, приготування кормових сумішей.

Кормоприготування — найбільш енергоємний і трудомісткий процес на тваринницьких фермах. Так, питомі витрати електроенергії на переробку 1 т кормів знаходяться в межах 1,2 – 2 кВт · год/т при змішуванні кормів, 5 – 22 кВт · год/т при подрібненні і 86 – 100 кВт · год/т при приготуванні трав'яного борошна.

Велика кількість типів і видів кормоприготувальних машин зумовлює різноманітність їх привідних характеристик. Проте залежно від типу робочого органу машини поділяють на кілька груп, в межах яких привідні характеристики дещо подібні.

До *першої групи* відносять машини, що розділяють оброблюваний матеріал на частини за принципом різання (ножові подрібнювачі); різання, перетирання і розбивання (ножові млини); розбивання і перетирання (дезінтегратори і дисмембратори); різання і роздавлювання (пастовиготовлювачі); розбивання, перетирання та сколювання (роторні дробарки, дискові відцентрові млини, молоткові дробарки). Умовно назвемо ці машини подрібнювачами кормів.

До *другої групи* — машини, що працюють за принципом роздавлювання та сколювання матеріалу між двома поверхнями (плющилки, вальцові дробарки, зернові млини).

До *третьої групи* — машини з пресувальними робочими органами (гранулятори та брикетувальні машини).

До *четвертої групи* — змішувачі кормів.

5.1. ЕЛЕКТРОПРИВІД ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРМІВ

Електропривід подрібнювачів кормів має ряд суттєвих особливостей, які слід враховувати при його проектуванні та експлуатації.

1. Значні споживані потужності. Встановлена потужність електродвигунів на дробарках сягає 132 – 160 кВт, пресів-грануляторів — 37 – 75 кВт, агрегату АВМ-5 — 726 кВт.

2. Випадковий характер навантаження, широкі межі коливання споживаної потужності, викликані неоднорідністю оброблюваного продукту та ручним завантаженням. Це утруднює роботу апаратів захисту, що діє неузгоджено з процесом нагрівання двигунів.

3. Необхідність безперервного або періодичного контролю струму навантаження двигуна. Це дає можливість зменшити перевантаження і недовантаження, завдяки чому знижується питома витрата електроенергії. З метою контролю струму в електроприводах подрібнювачів передбачають індикатори навантаження — спеціальні перевантажувальні амперметри з нерівномірною шкалою, проградуєваною в процентах від номінального струму.

4. Великі моменти інерції робочих органів привідних машин і, як наслідок, великі коефіцієнти інерції системи. Цим спричиняється значний час пуску електропривода і виникає загроза перегрівання двигуна. Для зменшення часу пуску двигунів споживчу трансформаторну підстанцію встановлюють поблизу кормоцеху або кормоприготувального агрегату та збільшують переріз проводів лінії живлення. З метою зниження втрат енергії в двигуні під час пуску передбачають схему пуску з перемиканням обмоток статора із “зірки” на “трикутник”.

5. Порівняно малий момент зрушення робочих органів кормоприготувальних машин ($M_c \leq 0,2M_{c,ном}$).

6. Неможливість пуску з заповненою робочою камерою. Тому алгоритмом керування повинно бути передбачено спорожнення робочої камери перед зупинкою машини, а також встановлення засувки на шляху перероблюваного продукту.

5.1.1. ПРИВІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРМІВ

Швидкість різання, що прямо пропорційно залежить від швидкості обертання робочого органу, є основним фактором, що впливає на продуктивність машини, якість одержуваного продукту та енергоємність процесу. При низьких швидкостях обертання продуктивність мала, а крупність подрібнення занадто велика. І навпаки, занадто великі швидкості обертання робочого органу не дають пропорційного підвищення продуктивності, зате погіршується якість продукту: у соковитих кормах з'являється мезга, а у дерті збільшується вміст неякісної пилової фракції та зростають енерговитрати.

Результати досліджень, проведених проф. І. І. Ревенком в НАУ на молоткових дробарках, показують, що при збільшенні швидкості молотків продуктивність дробарки пропорційно зростає (рис. 5.1, а) з одночасним зменшенням крупності помелу та енергоємності. Але при швидкостях більш ніж 55 м/с темпи зростання продуктивності уповільнюються, зате збільшується енергоємність процесу. Збільшення витрат енергії не дає підвищення якості подрібнення, бо деяке зниження модуля помелу викликане не стільки за рахунок збільшення якісної фракції розміром 0,2 – 1 мм, скільки за рахунок пиловидної фракції (рис. 5.1, б). Подібні результати одержані і при дослідженні машин з ножовими та штифтовими подрібнювальними органами. Експериментально доведено, що оптимальною швидкістю різання ножовими барабанами у подрібнювачах соковитих кормів є швидкість

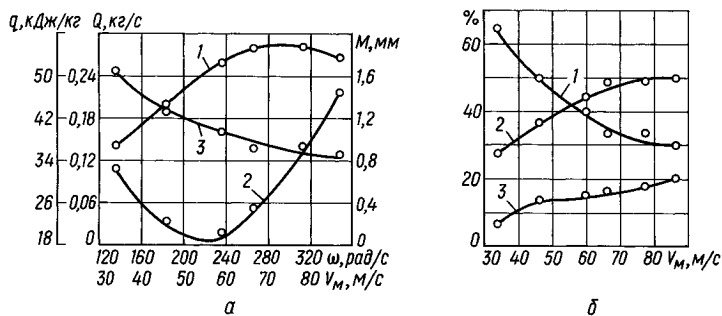


Рис. 5.1. Вплив швидкості подрібнювального ротора на:
 а — продуктивність дробарки (1), питому енергоємність процесу (2) і модуль помелу (3); б — фракційний склад продукту; 1 — вихід фракцій розміром більш ніж 1 мм; 2 — вихід фракцій розміром 0,2 – 1 мм; 3 — вихід пиловидної фракції розміром 0 – 0,2 мм

20 – 25 м/с, молотковими роторами у подрібнювачах сухих кормів (фуражне зерно, стеблові) — 70 – 80 м/с.

Таким чином, електропривід повинен забезпечувати стабільність швидкості обертання робочих органів навіть в умовах ручного завантаження, коли навантаження на валу двигуна змінюється у значних межах. Необхідну стабільність забезпечують асинхронні двигуни з нормальною механічною характеристикою.

Але продуктивність машини, якість перероблюваного продукту і енергоємність процесу значною мірою залежать і від виду перероблюваного продукту та його якісних характеристик (вологість, крупність тощо). Зважаючи на це, при проектуванні електропривода слід передбачати регулювання швидкості робочих органів залежно від вказаних факторів, особливо для універсальних подрібнювачів, наприклад КДУ-2, “Волгарь”, ДКМ-5 та їм подібних.

Робочі органи подрібнювачів кормів (ножовий барабан, молотковий ротор та ін.) при обертанні створюють досить потужний повітряний потік, на який витрачається до 40 – 60 % споживаної потужності. Тому механічна характеристика на холостому ходу вентилятора або близька до неї. Тобто у рівнянні (1.3) показник степеня $x = 1,6 - 2$.

Момент статичних опорів на холостому ходу молоткових подрібнювачів визначається з виразу

$$M_{c.x} = M_{c.в} + M_{c.т} = (1,1 - 1,2)M_{c.в}, \quad (5.1)$$

де $M_{c.в}$ — момент статичного опору повітряного потоку;

$M_{c.т}$ — момент опорів тертя.

При відомих розмірах молоткового ротора $M_{c.в}$ знаходять за формулою

$$M_{c.в} = \left(A_{л} F_{м} R_{с}^3 \alpha_{\phi} + B_{л} F_{вт} R_{п}^3 \right) \omega^2 \gamma_{п}, \quad (5.2)$$

де $A_{л}$ та $B_{л}$ — коефіцієнти відповідно лобового опору молотків та розпірних втулок. За експериментальними даними $A_{л} = 0,55 - 0,65$; $B_{л} = 0,15 - 0,2$; $F_{м}$ — лобова площа молотків, м²; $F_{вт}$ — лобова площа втулок, м²; $R_{с}$ — радіус барабана по центрах мас молотків, м; $R_{п}$ — радіус барабана по осях підвісу молотків, м; ω — кутова швидкість ротора, рад/с; $\gamma_{п}$ — густина повітря, кг/м³.

α_{δ} — коефіцієнт, що враховує вплив довжини молотка на його лобовий опір. Він дорівнює

$$\alpha_{\delta} = 1 + \left(\frac{a_M}{2R_c} \right)^2. \quad (5.3)$$

Лобова площа молотків визначається за їх розмірами:

$$F_M = a_M \delta Z, \quad (5.4)$$

де a_M та δ — відповідно довжина і товщина молотків, м; Z — кількість молотків на барабані.

Лобова площа втулок становить

$$F_{BT} = [L_{\delta} i_{\Pi} - (\delta Z + \sum L_{\delta})] d_{BT}, \quad (5.5)$$

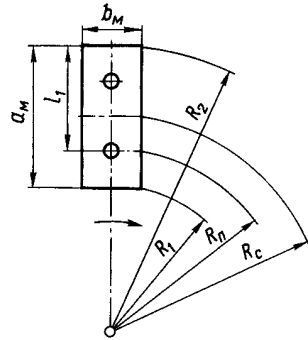


Рис. 5.2. Схема до визначення привідних характеристик молоткового барабана

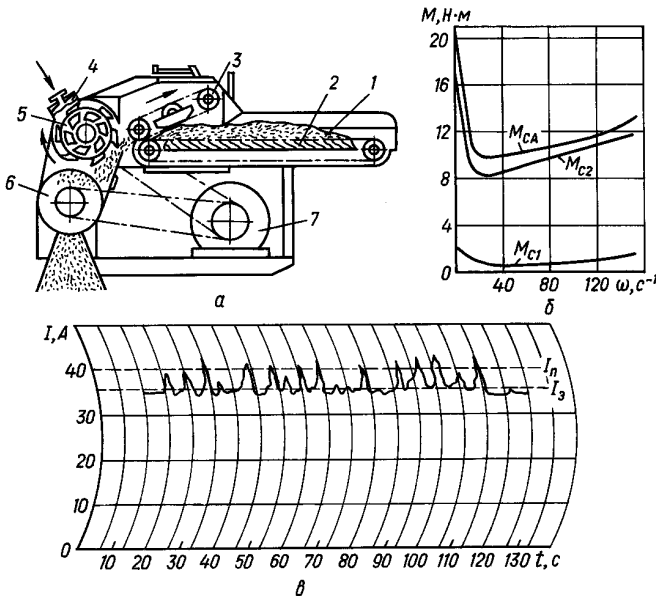


Рис. 5.3. Привідні характеристики подрібнювача кормів “Волгарь-5”:

a — кінематична схема; b — механічна характеристика; c — навантажувальна діаграма; 1 — корм; 2 — подавальний транспортер; 3 — натискний транспортер; 4 — заточувальний пристрій; 5 — різальний барабан; 6 — подрібнювальний барабан; 7 — електродвигун

де L_6 — довжина барабана, м; i_{II} — кількість осей підвісу молотків; $\sum L_D$ — сумарна товщина дисків барабана, м; d_{BT} — діаметр втулки, м.

Величини радіусів R_c і R_{II} можна визначити за конструктивними розмірами барабана (див. рис. 5.2), причому

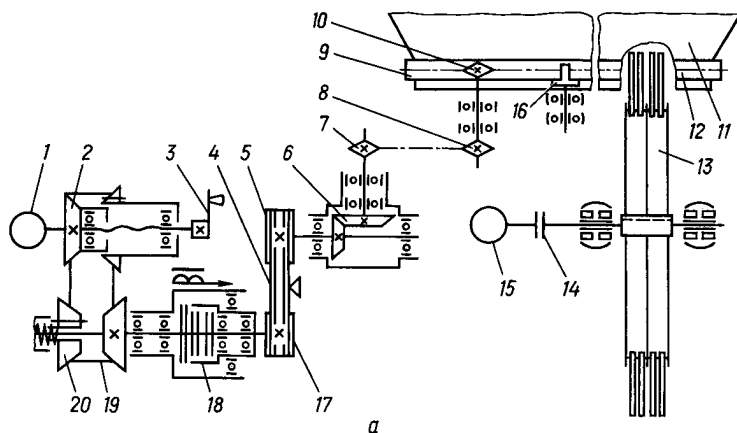


Рис. 5.4. Привідні характеристики дробарки-подрібнювача ИРТ-Ф-80-1: *a* — кінематична схема; *б* — механічна характеристика; 1 — електродвигун; 2 — шків варіатора ведучий; 3 — штурвал; 4 — пас клиновий; 5 — шків; 6 — редуктор конічний; 7, 8, 10 — зірочки; 9 — кільце опорне; 11 — бункер; 12 — ланцюг; 13 — ротор; 14 — муфта втулково-пальцева; 15 — електродвигун; 16 — коток опорний; 17 — шків; 18 — муфта електромагнітна; 19 — пас зубчастий; 20 — шків варіатора ведений

$$R_c = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (5.6)$$

Момент опорів тертя становить 10 – 15 % від вентиляційного моменту, що витікає з виразу (5.1).

Подрібнювальні барабани і механізми подачі подрібнювачів ранніх розробок (КДУ-2, “Болгарь-5”, ИГК-30Б, РСС-6 та ін.) приводяться в дію від одного двигуна, тому кінема-

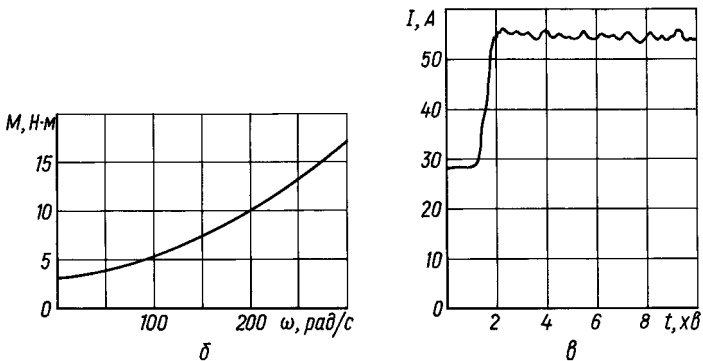
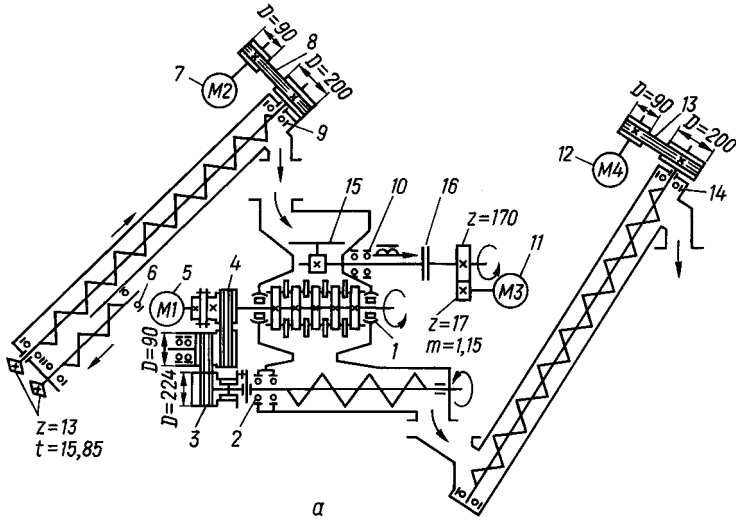


Рис. 5.5. Привідні характеристики дробарки ДБ-5:

a — кінематична схема; *б* — механічна характеристика; *в* — навантажувальна діаграма; 1, 2, 6, 9, 10, 14 — підшипники; 3, 4, 8, 15 — паси клинові; 5, 7, 12 — електродвигуни; 11 — мотор-редуктор; 15 — засувка; 16 — муфта електромагнітна

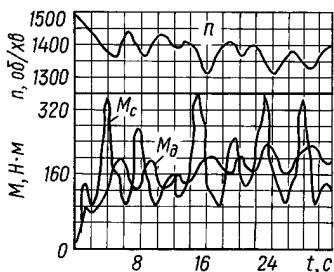


Рис. 5.6. Навантажувальна діаграма привода молоткової дробарки при ручному завантаженні

вдяки чому момент зрушення подрібнювального барабана близький до значення M_0 (рис. 5.4, б, 5.5, б).

Режим роботи подрібнювачів тривалий, із змінним навантаженням. Навантажувальні діаграми мають випадковий характер. Зміна навантаження в часі залежить від ступеня однорідності та величини подачі перероблюваного продукту на подрібнювальний барабан. У машин з ручним завантаженням навантажувальна діаграма має різкозмінний характер (рис. 5.6). Різні коливання навантаження спричиняють до зміни швидкості обертання барабана, внаслідок чого знижується продуктивність, погіршується якість вихідного продукту (особливо у зернодробарок), збільшуються енерговитрати. Для вирівнювання навантаження на двигун використовують регулятори. Останні регулюють завантаження у функції струму, ковзання або моменту (див. рис. 5.5, в).

Потужність, споживана подрібнювачами кормів, витрачається на подрібнення матеріалу P_1 , привід механізму подачі P_2 , холостий хід машини P_x і дорівнює

$$P_{\text{маш}} = P_1 + P_2 + P_x. \quad (5.7)$$

Потужність подрібнення P_1 , кВт, знаходять за виразом

$$P_1 = QA_{\text{под}}, \quad (5.8)$$

де Q — продуктивність машини, кг/с.

Робота $A_{\text{под}}$, кДж/кг, яка затрачується на подрібнення матеріалу, визначається з основного закону подрібнення

тичні схеми цих машин досить складні (рис. 5.3, а). Моменти зрушення таких машин можуть бути значно більшими за величину M_0 , а їх механічні характеристики на холостому ходу мають вигляд, наведений на рис. 5.3, б.

Конструкцією машин пізніших розробок (ДБ-5, ДКМ-5, ИРТ-Ф-80, ИКБ-Ф-700, ИКМ-Ф-10 та ін.) передбачено індивідуальний привід кожного робочого органу (рис. 5.4, а, 5.5, а), за-

$$A_{\text{под}} = C_{\text{пр}} [C_v \lg \lambda^3 + C_s (\lambda - 1)], \quad (5.9)$$

де $C_{\text{пр}}$ — дослідний коефіцієнт, що враховує вплив способу подрібнення, змінні характеристики матеріалу (вологість, в'язкість тощо), конструктивні особливості машини; C_s — коефіцієнт, що характеризує роботу, затрачувану на створення нових поверхонь при подрібненні 1 кг матеріалу, кДж/кг; C_v — коефіцієнт, що характеризує роботу пружних деформацій матеріалу при вибраному методі механічного навантаження, кДж/кг; λ — ступінь подрібнення матеріалу.

Значення коефіцієнтів $C_{\text{пр}}$, C_s і C_v , визначених дослідним шляхом, наведені у табл. 5.1 і 5.2.

5.1. Характеристики фуражного зерна (за експериментальними даними С. В. Мельникова)

Культура	Густи́ца, кг/м ³	Еквіва- лентний діаметр D_e , м	Коефіцієнти		
			$C_{\text{пр}}$	C_v , кДж/кг	C_s , кДж/кг
Ячмінь	1300	4,2	1,02 ± 0,3	8,5	7,5
Овес (без плівок)	1350	3,7	5,0 ± 1,5	2,34	1,96
Жито	1280	3,3	1,45 ± 0,35	8,4	6,4
Пшениця	1360	3,8	—	4,6	8,15
Горox	1360	6,3	—	10,7	3,66

5.2. Значення коефіцієнтів C_v і C_s для стеблових кормів, кДж/кг

Корм	C_v	C_s	Корм	C_v	C_s
Сіно: люцернове конюшини різнотрав'я	0,23 0,11 0,24	2,3 1,1 2,4	Трава свіжоскошена: люцерни конюшини різнотрав'я	0,2 0,1 0,19	2,0 1,1 1,9
Солома: ячменю жита	0,12 0,12	1,3 1,2			

Ступінь подрібнення — це відношення середнього (еквівалентного) діаметра зерна до середнього розміру подрібнених частинок. Подрібнені корми поділяють на три категорії: крупний, середній і дрібний помел з розмірами частинок 1,8 – 2,6, 1 – 1,8, 0,2 – 1,0 мм і ступенем подрібнення 2,3 – 1,6, 4,2 – 2,3 і 2,1 – 4,2 мм відповідно.

Величину $A_{\text{под}}$ можна обчислити за спрощеною формулою

$$A_{\text{под}} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1). \quad (5.10)$$

Коефіцієнти C_1 та C_2 визначають за результатами виробничих випробувань подрібнювачів (табл. 5.3).

5.3. Значення коефіцієнтів C_1 та C_2 , кДж/кг

Перероблюваний матеріал	Подрібнення різанням		Подрібнення у молотковому апараті	
	C_1	C_2	C_1	C_2
Сіно:				
конюшини	0,16	0,99	4,8 – 7,4	0,73 – 0,85
люпинове	0,12	0,97	6,8 – 10,9	0,56 – 0,70
Зерно ячменю	—	—	10 – 13	6 – 9

За формулою (5.10) можна оцінювати ефективність способів (роздавлювання, різання, розтирання, розбивання) і варіантів (одно- і двостадійне) подрібнення будь-яких матеріалів на машинах з різними робочими органами.

Потужність різання P_p , Вт, для соломосилосорізок з дисковим різальним апаратом визначається за формулою

$$P_p = Fv_{\sigma}, \quad (5.11)$$

де F — зусилля різання, Н; v_{σ} — швидкість ножа барабана, м/с.

За відомими розмірами живильника і параметрами різального апарату зусилля різання знаходять так:

$$F = q \frac{a}{\sin x}, \quad (5.12)$$

де q — питоме зусилля, достатнє для збудження процесу різання. Для грубих кормів становить 14 – 20 кН/м, для зелених — приблизно на порядок нижче; x — кут защемлення різального апарату ($x = 20 - 50^\circ$); a — висота горловини живильника, м.

Для соломосилосорізок з подрібнювальними апаратами барабанного типу потужність різання P_p , кВт, можна знайти з виразу

$$P_p = \frac{\pi q \Delta S R_{\sigma} n_{\sigma}}{30}, \quad (5.13)$$

де q — питоме зусилля, кН/м (для соломи — 3,5 – 9; трави — 3 – 6; листостеблової маси соняшника — 6 – 10); ΔS — довжина активної частини леза ножа, м; R_{σ} — радіус барабана, м; n_{σ} — частота обертання барабана, об/хв.

Потужність подачі P_2 залежить від типу живильника та виду оброблюваного матеріалу. Експериментально встановлено, що потужність для привода живильників приблизно дорівнює 1/3 потужності різання. У багатьох подрібнюваних машинах механізм подачі приводиться в дію від окремого двигуна, тому для них у формулі (5.7) потужність $P_2 = 0$.

Потужність холостого ходу P_x , Вт, визначають із рівняння

$$P_x = M_{c.x} \omega_{ном}, \quad (5.14)$$

де $M_{c.x}$ — момент холостого ходу, Н · м, при номінальній швидкості обертання $\omega_{ном}$, рад/с.

Момент холостого ходу знаходять за виразом (5.1) або з даних випробувань машин (табл. 5.4).

5.4. Привідні характеристики подрібнювачів кормів

Тип і марка машини	Електродвигун			Параметри механічної характеристики		
	Тип	Номінальна потужність, кВт	Зведений момент інерції машини β двигуном, кг·м	Момент зрушення, Н·м	Мінімальний момент, Н·м	Момент при номінальній частоті обертання, Н·м
Подрібнювач грубих кормів ИГК-30Б-11	АИР200Л6У2	30	11,4	2,94	2,94	16,7
Подрібнювач соковитих кормів ИСК-5М	АИР132S4У2	7,5	6,25	4,9	2,94	7,8
Подрібнювач ИКВ-Ф-5А	АИР180S4У2	22	1,57	11,8	7,35	9,8
Дробарка КДУ-2,0-1	4АМР180М4У2	30	7,75	14,7	10,7	55
Дробарки ДБ-5, ДКМ-5	4АМ180М2У2	30	2,49	4,0	—	17
Дробарка-подрібнювач ИРТ-Ф-80-1	4АМ250М6У2	55	18,7	33	—	283
Дробарка ДЗ-Т-1	4АМАТ-80/2А	1,1	0,11	0,285	—	1,21
Плющилка агрегату ПЗ-3-П (валець)	АИР160М6У2	15	0,7	18	—	14

Робота на подрібнення, визначена за формулами (5,9), (5.10), залежить як від виду перероблюваного матеріалу, так і від його якісних характеристик (вологості, однорідності тощо) та стану робочих органів машини. Останні коефіцієнтами $C_{пр}$, C_v і C_s не враховуються.

З досвіду експлуатації різних кормоприготувальних машин по переробці різноманітних кормів експериментально визначені питомі затрати енергії на подрібнення (табл. 5.5). Користуючись цими даними, можна орієнтовно визначити споживану потужність машини з подібними робочими органами за умовою:

$$P = Qq, \quad (5.15)$$

де Q — продуктивність машини, кг/с; q — питомі затрати енергії, кДж/кг.

5.5. Питомі затрати енергії на подрібнення кормів машинами з різними подрібнювальними апаратами

Подрібнювач	Питома енергоємність, кДж/кг	Подрібнювач	Питома енергоємність, кДж/кг
Подрібнювачі коре-небульбоплодів		Подрібнювачі стеблових кормів	
Коренерізка:		Пастовиготовлювач	8 – 10
дискова	0,8 – 0,13	Штифтовий подрібнювач	6 – 12
відцентрова	0,9 – 1,4	Соломосилосорізка з	
Коренетерка	1,1 – 1,5	ножовим різальним апа- ратом при подрібненні:	
Пастовиготовлювач	2,5 – 3,3	соломи	4,7 – 6,5
Штифтовий	3,6 – 4,4	зеленої маси	1,2 – 2,6
Молотковий	3,5 – 4,2		

При виборі двигуна за потужністю роблять так. Спочатку за формулами (5.7) чи (5.15) або за аналогією з подібними машинами розраховують необхідну потужність, споживану машиною у найважчому з можливих експлуатаційних режимів, і вибирають двигун за умовою:

$$P_{\text{дв.ном}} \geq (1,1 - 1,3) \frac{P_{\text{маш}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (5.16)$$

де $\eta_{\text{пер}}$ — ККД передачі.

Вибраний двигун встановлюють на машину і при номінальному її завантаженні самописним амперметром записують навантажувальну діаграму $I = f(t)$. За одержаною діаграмою визначають середнє $I_{\text{ср}}$ або еквівалентне $I_{\text{екв}}$ значення струму I і порівнюють з номінальним струмом вибраного двигуна за умовами:

$$\left. \begin{array}{l} I_{\text{дв.ном}} \geq I_{\text{ср}} \\ \text{або } I_{\text{дв.ном}} \geq I_{\text{екв}} \end{array} \right\}. \quad (5.17)$$

Робочі органи подрібнювачів кормів мають досить значний момент інерції, внаслідок чого тривалість пуску машини досягає кількох десятків секунд. Для поліпшення умов пуску робочі органи комплектують електродвигунами з підвищеним пусковим моментом.

Привідні характеристики деяких кормоприготувальних машин наведені в табл. 5.4.

5.1.2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРМІВ

Керування електроприводами подрібнювачів виконується за різними схемами: від найпростіших за допомогою ручних пускачів типу ПНВ або ПНВС, що використовуються у малопотужних машинах і призначених для домашнього господарства, до складних схем керування з автоматизацією завантаження двигуна.

Алгоритмами керування передбачають автоматизацію таких процесів:

- пуск електродвигуна;
- контроль рівня продуктів у бункерах;
- регулювання завантаження двигуна дробарки;
- необхідні блокування — механічні та електричні;
- надійний захист всіх елементів привода;
- сигналізація про стан елементів привода.

Автоматизація подрібнювача ИКФ-5-А “Волгарь”. Робочі органи подрібнювача приводяться в дію від одного електродвигуна потужністю 22 кВт (див. рис. 5.3, а). Схемою керування передбачено пряме вмикання електродвигуна *M* (рис. 5.7) в мережу пускачем *KM*, захист електродвигуна від коротких замикань і перевантажень автоматичним вимикачем *QF*, захист кіл керування від коротких замикань запобіжником *FU*. Подрібнювач обладнаний автоматом вимикання електродвигуна при потраплянні металевих предметів у барабан вторинного різання. Автомат спрацьовує при руйнуванні зрізної шпильки в його замку, внаслідок чого розмикається контакт кінцевого вимикача *SQ3*. Повторне вмикання двигуна можливе після очищення апарата вторинного різання від сторонніх предметів, залишків корму і установки замка автомата в робоче положення. Для запобігання пуску машини при відкритих кришках барабанів під ними вмонтовані кінцеві вимикачі *SQ1* і *SQ2*. Контроль за ступенем завантаження двигуна під час роботи подрібнювача здійснюється за показниками перевантажувального амперметра *PA*, увімкненого через трансформатор струму *TA*. Апарати керу-

вання і захисту двигуна змонтовані в ящику керування типу Я5103-3774ДУХЛ2.

Автоматизація дробарки ДБ-5. Дробарка ДБ-5 призначена для подрібнення фуражного зерна вологістю до 17 %. Продуктивність дробарки при різній крупності помелу 1,8 – 6 т/год. У виконанні ДБ-5-1 машина складається з дробарки, завантажувального і вивантажувального шнеків та шафи керування. Робочі органи приводяться в дію від чотирьох електродвигунів (див. рис. 5.5, а).

Зерно, яке підлягає подрібненню, подається з бурта завантажувальним шнеком 10 (рис. 5.8, а) у зерновий бункер 9. Рівень зерна у бункері контролюється двома магнітокерованими датчиками 11. З бункера через щілину, створену засувкою 12 і похилою нижньою стінкою, зерно проходить через магнітний сепаратор 13, очищується від випадкових металічних предметів і потрапляє в подрібнювальну камеру 1, де подрібнюється молотковим ротором 2 і декою 15. Подрібнена маса повітряним потоком, створюваним ротором, по кормопроводу 5 транспортується до сепаратора 7 роздільної камери 8. Дрібна фракція шнеками 3 і 4 вивантажується з дробарки. Крупна фракція спрямовується на повторне подрібнення у дробильну камеру. Ступінь помелу регулюється поворотом засувки 6 і зміною сепаратора 7.

Навантаження двигуна М2 дробарки регулюється поворотом засувки 15 вручну або електродвигуном МЗ (див. рис. 5.5, а). Привід засувки складається з електродвигуна РД-09, зубчастої передачі, вала і електромагнітної муфти 16, яка з'єднує вал з електродвигуном. При вимиканні електромагнітної муфти вал засувки роз'єднується з валом двигуна і під дією власної ваги засувка швидко перекриває доступ зерна в дробильну камеру.

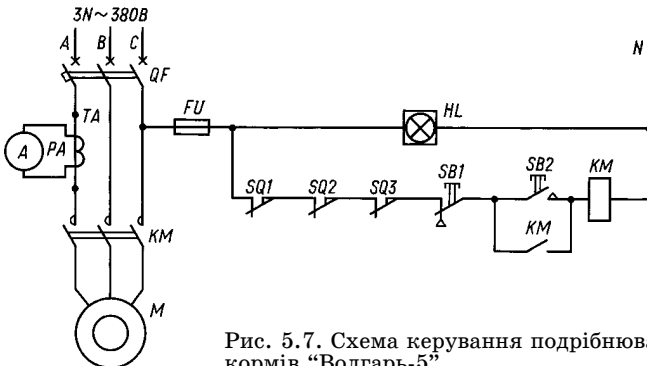


Рис. 5.7. Схема керування подрібнювачем кормів "Волгарь-5"

Електрична схема керування електроприводом дробарки передбачає налагоджувальний (Н) і робочий (Р) режими роботи (рис. 5.8, б), які встановлюються перемикачами SA2 і SA3.

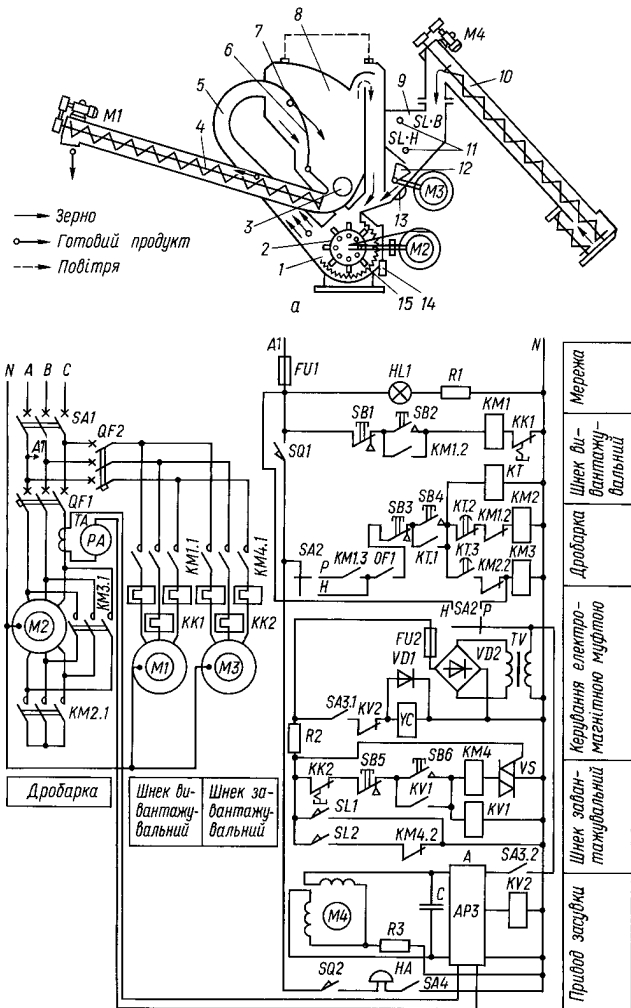


Рис. 5.8. Технологічна (а) та електрична (б) схеми дробарки ДБ-5-1: 1 — подрібнювальна камера; 2 — ротор; 3, 4, 10 — шнеки; 5 — кормопровід; 6, 12 — засувки; 7 — сепаратор; 8 — роздільна камера; 9 — бункер; 11 — датчики рівнів; 13 — магнітний сепаратор; 14 — кінцевий вимикач SQ1; 15 — дека; M1, M2, M3, M4 — електродвигуни приводів відповідно вивантажувального шнека, дробарки, засувки в бункері зерна і завантажувального шнека

У режимі “Наладка” кожний механізм кнопками *SB1 – SB6* вмикається і вимикається незалежно від інших.

У режимі “Робота” після натискання кнопки *SB2* послідовно запускаються двигуни вивантажувального шнека *M1* і дробарки *M2*. Для зниження пускового струму електродвигун дробарки *M2* запускається за схемою з перемиканням обмоток із “зірки” на “трикутник”. Процес пуску контролюється реле часу *KT*, яке через 10 с після запуску по схемі “зірка” подає команду на перемикання обмоток на “трикутник”. При натисканні кнопки *SB4* вмикаються пускач *KM2* і двигун *M2* при з’єднанні обмоток за схемою “зірка”. Одночасно одержує живлення реле часу *KT*. Через 10 с реле часу контактом *KT.2* вимикає пускач *KM2*, а контактом *KT.3* вмикає *KM3* і подає напругу на регулятор завантаження *AP3* та електромагнітну муфту *YC*. Обмотки двигуна *M2* перемикаються на “трикутник”.

Електродвигун завантажувального шнека *M3* запускається після натискання кнопки *SB6* при незаповненому бункері дробарки. Коли зерно в бункері досягне датчика верхнього рівня, замикається контакт *SL1* і шунтує коло керуючого електрода симістора *VS*. Останній закривається і розриває коло живлення котушки пускача *KM4*. Завантажувальний шнек зупиняється. Повторно шнек запускається після звільнення зерном датчиків рівня *SL1* і *SL2*.

Для стабілізації струму, споживаного електродвигуном дробарки *M2*, передбачений автоматичний регулятор завантаження (*AP3*). Керуючий сигнал на регулятор знімається з трансформатора струму *TA*. Залежно від завантаження двигуна *M2* регулятор *AP3* подає команди на привід засувки *M4*, який, відкриваючи або закриваючи засувку, змінює подачу зерна у дробильну камеру. Так підтримується номінальне завантаження двигуна *M2*. При стрибкоподібних перевантаженнях двигуна дробарки регулятор через реле *KV2* вимикає муфту *YC* і засувка перекриває доступ зерна в дробильну камеру. Якщо зерно в дробильну камеру не надходить, засувка відкривається повністю, замикається контакт кінцевого вимикача *SQ2* і вмикається сирена *HA*.

Регулятор *AP3* подає команди на вмикання двигуна *M4* імпульсами з певною заданою шпаруватістю. Якщо двигун недовантажений або перевантажений більше 15 % від номінального струму, паузи між імпульсами скорочуються у 5 – 15 разів, завдяки чому прискорюється відпрацювання сигналу неузгодженості між опорним і контрольованим сигналами.

Для перевірки роботи регулятора завантаження вимикач *SA3* встановлюють в положення “Регулятор”.

Схемою передбачено захист від коротких замикань: двигунів дробарки — автоматичними вимикачами $QF1$ і $QF2$, схеми керування — запобіжником $FU1$. Двигуни $M1$ і $M3$ шнеків від перевантажень захищені тепловими реле $KK1$ і $KK2$.

Контакт кінцевого вимикача $SQ1$ запобігає запуску двигуна $M2$ при відкритій кришці дробарки.

Автоматизація подрібнювача ИКБ-Ф-700 (БЛОК-700). Подрібнювач ИКБ-Ф-700 часто входить до складу потокової лінії для переробки грубих і стеблових кормів, у тому числі кукурудзи. Потокова лінія складається з завантажувального і вивантажувального конвеєрів та подрібнювача з приводом від окремих двигунів (рис. 5.9).

Алгоритмом автоматизованого керування потоковою лінією передбачено:

- передпускову сигналізацію;
- послідовний пуск двигунів вивантажувального конвеєра $M1$ (рис. 5.10), подрібнювача $M2$ і завантажувального конвеєра $M3$. При цьому двигун $M2$ запускається за схемою з перемиканням обмоток із “зірки” на “трикутник”;
- обмеження струму, споживаного двигуном подрібнювача, шляхом зупинки двигуна $M3$ завантажувального конвеєра;
- захист від коротких замикань силових кіл і кіл керування автоматичними вимикачами $QF1 - QF4$;
- захист двигуна дробарки від перевантажень тепловим реле $KK1$;
- захист двигунів конвеєрів від перегрівання пристроями вмонтованого температурного захисту $SK1$ і $SK2$;
- сигналізація про ступінь завантаження двигуна дробарки амперметром PA ;

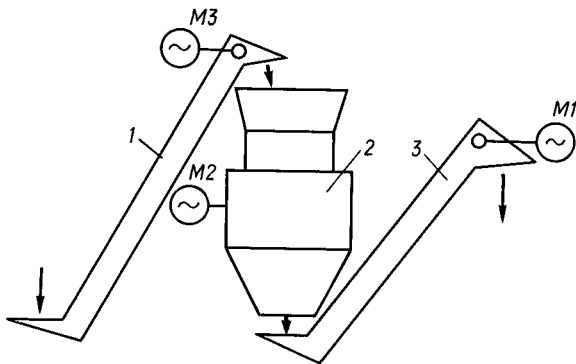


Рис. 5.9. Технологічна схема потокової лінії з подрібнювачем кормів ИКБ-Ф-700:

1 — завантажувальний транспортер; 2 — подрібнювач; 3 — вивантажувальний транспортер

- блокування, що запобігає вмиканню двигуна подрібнювача при відкритих люках, за допомогою кінцевих вимикачів $SQ1 - SQ3$;

- електричне блокування, що запобігає завалу продуктом машини, яка зупинилася внаслідок спрацювання захисного апарата;

- сигналізацію про подачу напруги на кола керування та двигуни конвеєрів.

Електроприводи потокової лінії можуть працювати в налагоджувальному і робочому режимах. У режимі “Наладка” кожний механізм вмикається і вимикається незалежно від інших кнопок керування $SB1 - SB8$.

В автоматичному режимі перемикач SA встановлюють у положення “Робота” і натискають кнопку $SB2$. Перед запуском двигунів на 4 с вмикається передпускова сигналізація $HA1$, тривалість якої контролюється реле часу $KT1$. Після закінчення витримки часу реле $KT1$ послідовно вмикаються двигуни $M1, M2, M3$. Процес пуску двигуна $M2$ контролюється реле часу $KT2$. При перевантаженні двигуна подрібнювача $M2$ спрацьовує реле струму $KA1$ і запускає реле часу $KT3$, яке з витримкою часу 3 – 5 с розриває коло живлення котушки пускача $KM5$, внаслідок чого зупиняється завантажувальний конвеєр. Після зниження струму електродвигуна $M2$ контакт $KA1$ розмикається і подача матеріалу на подрібнення поновлюється.

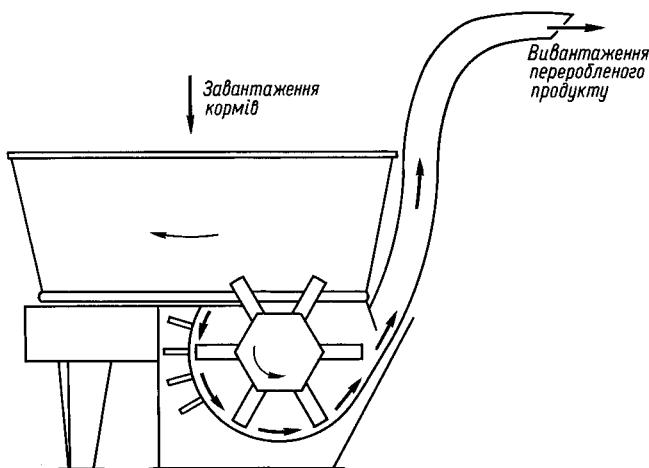


Рис. 5.11. Технологічна схема дробарки-подрібнювача ИРТ-Ф-80-1

У шафі керування встановлена розетка *XS1* для вмикання переносного світильника.

Автоматизація дробарки-подрібнювача ИРТ-Ф-80-1. Дробарка-подрібнювач ИРТ-Ф-80-1 призначена для подрібнення грубих кормів. Корм, що підлягає подрібненню, грейферним навантажувачем подається в завантажувальний бункер. Останній, обертаючись, подає матеріал на ротор, який також обертається. Під дією молотків ротора і дек, встановлених у корпусі дробильної камери, маса подрібнюється і повітря потоком, створеним ротором, через вивантажувальний пристрій подається у транспортні засоби (рис. 5.11). Бункер і ротор приводяться в дію від окремих електродвигунів.

Схемою керування машиною передбачено налагоджувальний і робочий режими. У налагоджувальному режимі натисканням кнопок *SB1 – SB4* (рис. 5.12) запускають і зупиняють двигуни *M1* і *M2* незалежно один від одного. При цьому двигун ротора *M1* запускається з перемиканням обмоток із “зірки” на “трикутник”. Процес пуску контролюється реле часу *KT2*. Кнопкою *SB6* вмикається сирена *HA*.

У режимі “Робота” після натискання кнопки *SB1* послідовно без витримки часу спрацьовують реле часу *KT1*, *KT2*, *KT4* і *KT3*. Через контакти реле *KT1* вмикається передпускова сигналізація *HA* і контактор *KM2*. Витримка реле часу *KT1* триває 30 с, після чого останнє відпускає контакти, вмикає сирену *HA*, реле *KT2* і вмикає контактор *KM1*. Двигун *M1* вмикається при з’єднанні обмоток за схемою “зірка”. Через 20 с відпускає реле *KT2* і обмотки двигуна *M1* перемикаються на “трикутник”.

Натисканням кнопки *SB4* вмикають контактор *KM4*, який вмикає в мережу двигун бункера *M2* і замикає коло електромагнітної муфти *YC*, після чого бункер починає обертатись.

Для зупинки машини спочатку вимикають двигун *M2* привода бункера, потім — двигун *M1*. Вимикання подрібнювача в аварійній ситуації здійснюється кнопками *SB7* або *SB8*, одна з яких встановлена на дверях шафи керування, інша — на рамі машини.

Якщо двигун привода ротора *M1* перевантажується, спрацьовує реле струму *KA*, яке вмикає реле часу *KT3*. Через 2 с реле *KT3* відпускає свої контакти і вмикає живлення електромагнітної муфти *YC*. Бункер зупиняється, подача продукту на ротор зменшується. При зниженні струму до 67 А реле *KA* відпускає контакти і бункер знову починає обертатись. У тому випадку, коли перевантаження триває

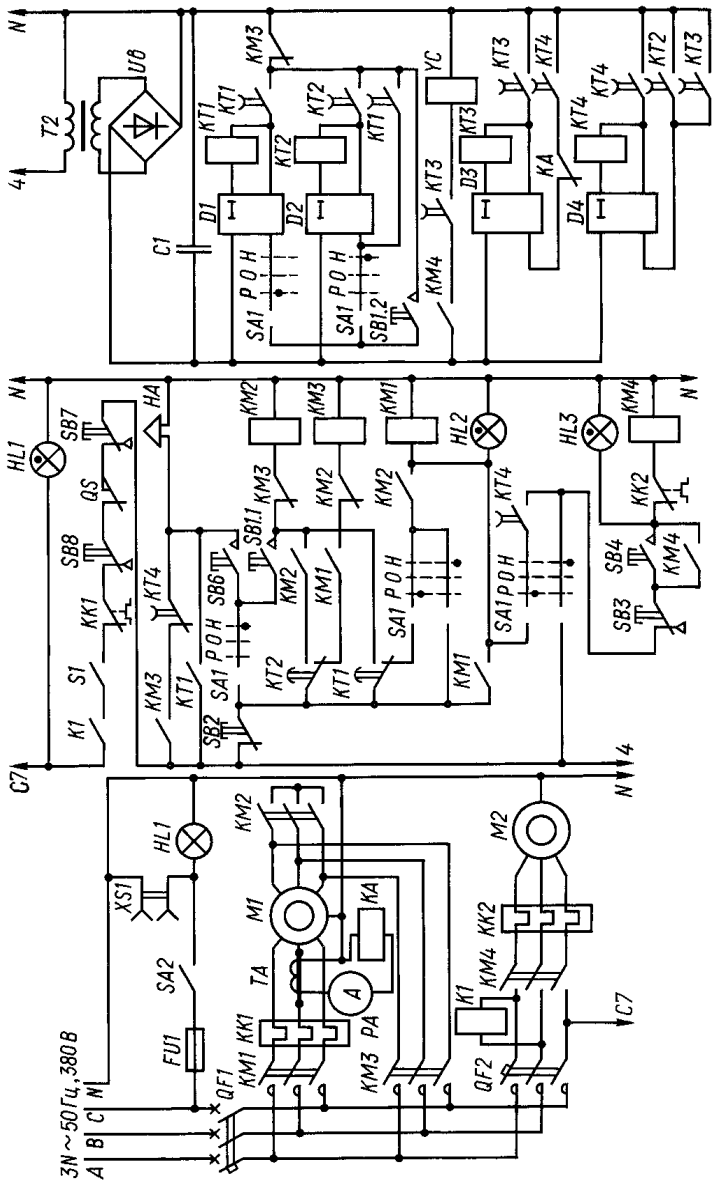


Рис. 5.12. Електрична схема керування дробаркою-подрібновачем ИРТ-Ф-80-1

більше 20 с, реле $KT4$ своїми контактами вимикає пускач $KM4$ і вмикає сирену HA , що свідчить про аварійну зупинку бункера. Для захисту від струмів короткого замикання передбачені автоматичні вимикачі $QF1$ і $QF2$ та запобіжник $FU1$, від струмів перевантаження двигунів — теплові реле $KK1$ і $KK2$. Кінцевий вимикач QS запобігає вмиканню двигуна ротора при відкритій кришці дробильної камери. Візуальний контроль за ступенем навантаження двигуна $M1$ здійснюється за показниками амперметра PA . Про вмикання двигунів сигналізують лампи $HL2$ і $HL3$. У шафі керування встановлена розетка $XS1$ для вмикання переносного світильника.

5.2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВАЛЬЦЬОВИХ МАШИН

Вальцьові машини використовуються в агрегатах для переробки зерна фуражних і продовольчих культур (вівса, кукурудзи, гороху, ячменю, пшениці та ін.).

Робочими органами вальцьових машин є два циліндричних вальці однакового діаметра, що обертаються в протилежних напрямках назустріч один одному з різними або однаковими коловими швидкостями. Поверхні вальців бувають гладенькими або рифленими. Гладенькі вальці, що обертаються з однаковою швидкістю, діють на зерно за принципом чистого стискання. Такі вальці використовують у плющилках для виготовлення пластівців із свіжозібраного зерна підвищеної вологості або сухого зерна, підданого волого-тепловій обробці.

Вальці з нарізними або гладенькими поверхнями, що обертаються з різними швидкостями, піддають зерно дії складної деформації — стиску і зсуву. Продукти подрібнення характеризуються високою рівномірністю з мінімальною кількістю пилової фракції. Такі вальці використовують у дробарках і вальцьових млинах.

Конструктивно вальцьові машини розрізняють: за кількістю пар вальців — з однією або двома парами; за характерними розмірами — діаметром і довжиною вальців.

Продуктивність однією пари вальців Q , кг/с, визначається за пропускнуою здатністю робочого зазору:

$$Q = \Delta L v_3 \gamma \varepsilon, \quad (5.18)$$

де Δ — робочий зазор між вальцями, м; L — довжина вальців, м; v_3 — середня швидкість зерна в зоні подрібнення, м/с; γ — об'ємна маса продукту, кг/м³; ε — коефіцієнт, що

враховує ступінь заповнення зерном робочого зазору, а також можливе ковзання продукту. При переробці фуражного зерна $\varepsilon = 0,1 - 0,3$.

Середня швидкість зерна v_3 визначається з виразу:

$$v_3 = \frac{v_{\text{ш}} + v_{\text{т}}}{2}, \quad (5.19)$$

де $v_{\text{ш}}, v_{\text{т}}$ — колові швидкості обертання відповідно швидко- і тихохідного вальців, м/с.

З виразу (5.18) витікає, що продуктивність машини лінійно залежить від швидкості обертання вальців. Але при значному збільшенні швидкості погіршується затягування зерна між вальці і продуктивність зменшується. Встановлено, що оптимальна швидкість робочої поверхні швидкохідного вальця 5 – 10 м/с, а тихохідного — 2 – 7 м/с.

Крупність подрібнення вальцьових дробарок залежить від диференціала швидкості K ($K = v_{\text{ш}} / v_{\text{т}}$), робочого зазору між вальцями Δ та діаметра вальців.

Привід кожного вальця в більшості випадків здійснюється індивідуально від електродвигуна через клинопасову передачу. У вальцьових млинах швидкохідний валець приводиться в дію від електродвигуна через клинопасову передачу, а тихохідний — від швидкохідного вальця через пару косозубих шестерень.

Зведений до вала електродвигуна момент інерції вальця наближено визначається з виразу

$$J_{\text{зв}} = (1,1 - 1,2)J_{\text{в}} / i^2, \quad (5.20)$$

де J — момент інерції вальця, кг/м²; i — передаточне число.

Коефіцієнт (1,1 – 1,2) враховує момент інерції елементів передачі.

Валець має форму порожнистого циліндра (рис. 5.13), його момент інерції можна знайти за формулою

$$J_{\text{в}} = \pi\gamma \left[\frac{L_1(d_1^2 - d_2^2)^2 + 2L_2(d_2^2 - d_3^2)^2 + L_3d_3^4}{32} \right], \quad (5.21)$$

де γ — густина сталі, кг/м³; d_1 — зовнішній діаметр вальця, м; d_2 — внутрішній діаметр вальця, м; d_3 — діаметр вала, м; L_1 — довжина вальця, м; L_2 — товщина маточини, м; L_3 — довжина вала, м.

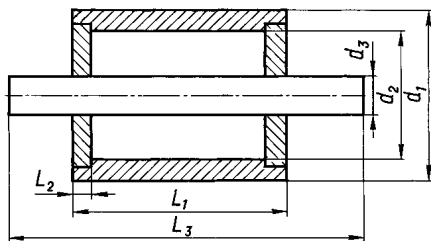


Рис. 5.13. Схематичний розріз вальця плющилки

межах 4 – 7 % від моменту при номінальному завантаженні.

Режим роботи електроприводів вальців тривалий із змінним навантаженням. Навантажувальна діаграма $P = f(t)$ має випадковий характер. Причому через неоднорідність подрібнюваного матеріалу та нерівномірність подачі можливі значні коливання навантаження, в тому числі і перевантаження.

Середня потужність, споживана одним вальцем на переробку матеріалу, орієнтовно визначається залежно від довжини вальця:

$$P = p'L_1, \quad (5.22)$$

де p' — питома потужність, віднесена до одиниці довжини вальця, кВт/м, ($p' = 15 - 24$ кВт/м); L_1 — довжина вальця, м.

При відомій продуктивності пари вальців Q , т/год, потужність P , кВт, необхідну для привода одного вальця, можна знайти також через питому енергоємність процесу q , кВт · год/т:

$$P = Qq. \quad (5.23)$$

Експериментально визначено, що для плющилок $q = 3 - 5$ кВт · год/т, дробарок і млинів — 6 – 7 кВт · год/т. З наведеного видно, що енергоємність процесу досить висока. Причому при спрацюванні рифлів по висоті продуктивність машини знижується, внаслідок чого питома енергоємність зростає.

На сільськогосподарських підприємствах широко використовують кормоприготувальні агрегати для плющення зерна типів ПЗ-3, ПЗ-3-П, ПЗ-8; у млинах та комбікормових заводах — вальцьові станки типів ЗМ, ЗС, ВМП. Для підсобних господарств розроблені плющилки зерна ПЗ-Т-0,1-1, ПЗ-Т-0,1-2.

Алгоритмом керування вальцьовими машинами передбачають запуск вальців без навантаження, а після їх розгону до усталеної швидкості — подачу зерна. Момент статичних опорів вальців, що обертуються вхолосту, зумовлюється в основному силами тертя, практично не залежить від швидкості обертання і знаходиться в

Автоматизація агрегату ПЗ-3-П. Агрегат ПЗ-3-П призначений для приготування пластівців з вологого консервованого або свіжообмолоченого зерна фуражних культур. Вологість зерна 18 – 35 %.

Агрегат складається з гвинтового завантажувального конвеєра, що приводиться в дію електродвигуном *М1* (рис. 5.14) через клинопасову передачу; двовальцьової плющилки з індивідуальним приводом вальців від електродвигунів *М2* і *М3*; скребкового вивантажувального конвеєра з приводом від мотор-редуктора *М4*.

Зерно із завальній ями гвинтовим транспортером подається в нагромаджувальний бункер. Продуктивність конвеєра регулюється заслінкою. Потік зерна з бункера, сформований спеціальним розсікачем, рівномірно подається на плющильні вальці, які перетворюють його на пластівці і через перехідник направляють на вивантажувальний конвеєр.

Схемою автоматизації агрегату передбачено послідовне пряме вмикання електродвигунів у напрямку від кінця потокової лінії до початку та вимикання їх у зворотному напрямку при зупинці потокової лінії; блокування, що запобігає

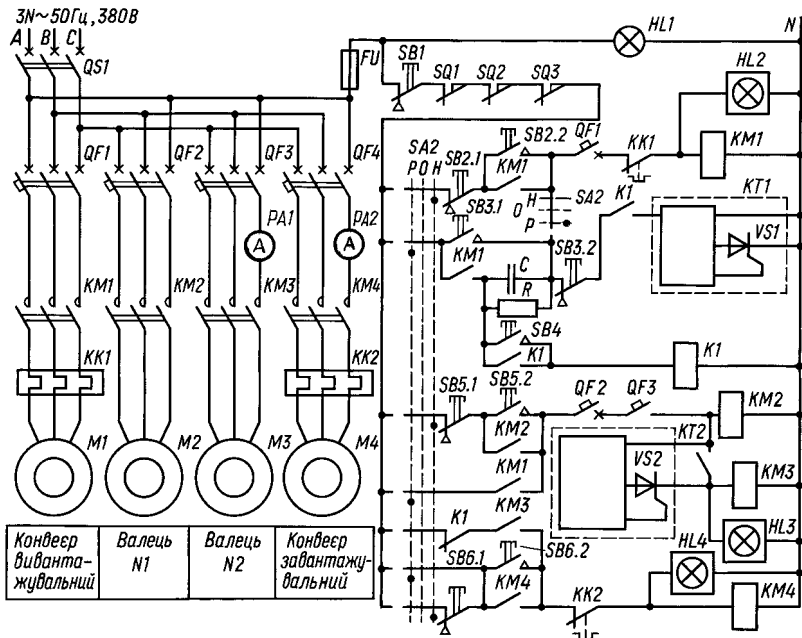


Рис. 5.14. Електрична схема керування агрегатом ПЗ-3-П

увімкненню двигунів привода вальців при відкритих люках плющилок; захист від коротких замикань і перевантажень; світлову сигналізацію.

Системою керування передбачено два режими: ручне керування в режимі налагодження (положення “*H*” перемикача *S2*) та автоматичне (положення перемикача “*P*”). У режимі налагодження електродвигуни агрегату можна запустити і зупинити в будь-якій послідовності натисканням на кнопки *SB1* – *SB6*.

Для запуску агрегату в робочому режимі при увімкнених автоматичних вимикачах *QF1* – *QF4* і закритих люках плющилки (замкнені контакти *SQ1* – *SQ3*) натискають на кнопку *SB3*. Спрацьовують магнітні пускачі *KM1* і *KM2*, які вмикають у мережу електродвигун *M1* привода вивантажувального конвеєра і *M2* — першого вальця плющилки. Одночасно запускається реле часу *KT2*, яке через 8 – 10 с подає команду на вмикання пускачів *KM3* і *KM4*. Запускаються послідовно двигуни другого вальця *M3* і завантажувального конвеєра *M4*. Про роботу двигунів *M1*, *M3* і *M4* сигналізують лампи *HL2* – *HL4*. Електродвигуни привода вальців працюють у важкому режимі з можливими перевантаженнями, тому в щит керування вмонтовані перевантажувальні амперметри *PA1* і *PA2*, за показниками яких оператор регулює подачу зерна на вальці.

Для зупинки агрегату натискають на кнопку *SB4*, яка вмикає проміжне реле *K1*. Розмикаючий контакт *K1* вимикає пускач *KM4*, і завантажувальний транспортер зупиняється. Замикаючий контакт *K1* вмикає реле часу *KT1*, яке з витримкою 60 – 90 с шунтує котушку *KM1*, після чого контактори *KM1* і *KM2* вимикають двигуни *M1* і *M2*. Тривалість витримки підбирається такою, щоб все зерно з бункера було перероблене і вивантажене з агрегату.

Реле часу *KT2* забезпечує витримку часу для розгону двигуна *M2* до усталеної швидкості.

Для аварійного вимикання двигунів передбачена кнопка *SB1*. Захист силових кіл від коротких замикань здійснюють автоматичні вимикачі *QF1* – *QF4*, кіл керування — запобіжник *FU*. Двигуни привода конвеєрів *M1* і *M4* від невеликих тривалих перевантажень захищені тепловими реле *KK1* і *KK2*. У схему керування введені допоміжні замикаючі контакти автоматичних вимикачів *QF1* – *QF3*. При спрацюванні вимикача *QF1* зупиняються всі двигуни, при спрацюванні *QF2* і *QF3* — валки і завантажувальний конвеєр, що запобігає завалу машин у потоковій лінії.

5.3. ЕЛЕКТРОПРИВІД МАШИН ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ КОРМІВ

Найпоширенішими стаціонарними установками для пресування кормів є комплекти обладнання для гранулювання і брикетування кормів.

Гранули — це сипкі кормові компоненти (найчастіше — трав'янисте борошно), спресовані до щільності $800 - 1300 \text{ кг/м}^3$, діаметром (товщиною) до 25 мм. *Брикети* — це спресовані до щільності $500 - 900 \text{ кг/м}^3$ кормові суміші із включенням грубих кормів, трав'яна або солом'яна січка. Розміри брикетів більше 25 мм.

Головною машиною в комплекті обладнання для гранулювання і брикетування є брикетний прес або гранулятор. За принципом дії вони бувають вальцові, шнекові, плунжерні та матричні. Найрозповсюдженішими є матричні робочі органи, які складаються з матриці з пресувальними каналами і пресувальних вальців. Процес ущільнення в такому робочому органі відбувається так (рис. 5.15, а). У робочу зону, створену внутрішньою поверхнею матриці 2 і зовнішньою поверхнею вальця 5, подається матеріал 1, який спочатку стискується, а потім вдавлюється в канали 4. При їх заповненні опір пресуванню матеріалу зростає, у зв'язку з чим тиск пресування збільшується і досягає максимального значення при повністю заповнених каналах. Коли тиск пресування дорівнюватиме силі тертя спресованого матеріалу об стінки каналів, він виштовхується. При зустрічі з ножем 3 пресований матеріал розділяється на окремі гранули або брикети.

Привід матриці 4 (рис. 5.15, б) здійснюється від асинхронного електродвигуна 1 через еластичну муфту 2 та двоступінчастий циліндричний редуктор 3.

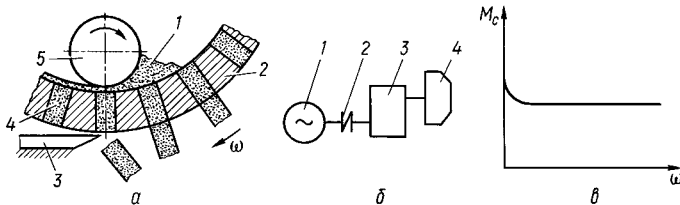


Рис. 5.15. Привідні характеристики преса-гранулятора:

а — технологічна схема: 1 — корм; 2 — матриця; 3 — ніж; 4 — канал; 5 — валець;
б — кінематична схема: 1 — електродвигун; 2 — муфта; 3 — редуктор; 4 — матриця;
в — механічна характеристика

Технологія пресування вимагає, щоб спресовані корми знаходились в каналі матриці протягом 20 – 40 с. За цей час у спресованому матеріалі в основному завершується релаксація внутрішніх напруг, внаслідок чого щільність і міцність гранул або брикетів залишаються високими. Таким чином, максимальна частота обертання матриці обмежується міцністю гранул, що виходять з її каналів. Мінімальна частота обертання повинна забезпечувати найкращий захват матеріалу і безперерійне надходження його до вальців, особливо при вертикальних матрицях. Звідси виходить, що електропривід повинен забезпечувати стабільну швидкість обертання матриці навіть при зміні подачі вихідного матеріалу та його технологічних характеристик. Таким вимогам задовольняють асинхронні електродвигуни, в яких механічна характеристика в робочій частині досить жорстка.

Для запобігання поломки деталей преси запускають при очищених від залишків корму камерах, тобто вхолосту. При цьому основними опорами є сили тертя, а механічна характеристика має вигляд, наведений на рис. 5.15, в. Момент зрушення не перевищує номінального моменту машини.

Частота обертання робочих органів преса невисока, тому зведений до вала електродвигуна момент інерції системи визначається в основному моментом інерції його ротора.

Цим пояснюється те, що час запуску електродвигуна триває кілька секунд, а ступінь його нагрівання під час пуску невисокий. Але оскільки двигуни привода пресів мають велику потужність, то для обмеження пускових струмів їх часто запускають з перемиканням обмоток із “зірки” на “трикутник”.

Режим роботи двигунів тривалий, із змінним навантаженням. Зусилля, які виникають у пресувальних органах, зумовлюються багатьма факторами, що можуть змінювати свій вплив протягом роботи машини (кількість і склад вихідного матеріалу, його вологість, температура матриці та вальців тощо). Тому навантаження на валу двигуна коливається в значних межах, включаючи і перевантаження. З метою захисту електродвигуна від перегрівання схемою керування передбачають захисні апарати та амперметр для візуального контролю завантаження. За його показниками оператор регулює подачу матеріалу на пресування. Крім того, у конструкції привода преса передбачена зрізна шпилька. При різких перевантаженнях преса остання зрізується, внаслідок чого розмикається контакт кінцевого вимикача, який подає команду на зупинку агрегату.

Продуктивність преса з кільцевою матрицею, яка обертається, визначається за виразом

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} l \gamma k z n \beta_0 k_B, \quad (5.24)$$

де d_0 — діаметр гранули, м; l — довжина гранули, м; γ — об'ємна маса гранул, кг/м³; k — кількість пресувальних вальців; z — кількість отворів у матриці; n — частота обертання матриці, об/с; β_0 — коефіцієнт буксування вальця ($\beta_0 = 0,80 - 0,95$); k_B — коефіцієнт використання площі “живого” перерізу матриці ($k_B = 0,6 - 0,9$).

Потужність привода пресів можна визначити за методиками, наведеними у спеціальній літературі. Наближено потужність визначають через питому енергоємність процесу:

$$P = Qq, \quad (5.25)$$

де Q — продуктивність машини, кг/с.

Питома енергоємність процесу залежить від виду та складу пресованих кормів, розміру гранул та брикетів і за експериментальними даними знаходиться в межах, кДж/кг:

- при гранулюванні трав'яного борошна — 130 – 200;
- при гранулюванні комбікормів — 45 – 60;
- при брикетуванні кормових сумішей — 115 – 160.

Крім пресувальних машин, до складу комплексів обладнання для гранулювання і брикетування кормів входять ряд інших механізмів — дозатори, змішувачі, вентилятори, конвеєри, електропривід яких розглядається в інших розділах цього підручника.

5.4. ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

Змішування компонентів корму є завершальною операцією приготування кормових сумішей. Для цього використовують змішувачі порційної або неперервної дії. У подрібнювачах-змішувачах процес змішування суміщених з подрібненням одного або кількох компонентів.

За *призначенням* установки поділяють на змішувачі сухих сипких (комбікормів), розсипних вологих та рідких кормів. За *конструкцією робочих органів* — на шнекові, лопатеві, барабанні, вібраційні, комбіновані. Для змішування рідких кормів застосовують циркуляційні, пневматичні та механічні пристрої. За *організацією робочого процесу* змішувачі поділяють на дві групи: з обертовою та нерухою камера-

ми. До першої групи відносять барабанні горизонтальні, вертикальні та похилі змішувачі різного конструктивного виконання. До другої групи належать мішалльні змішувачі. Для сипких кормів застосовують шнекові, лопатеві та стрічкові мішалки; для розсипних вологих (стеблових) — шнекові і лопатеві; для рідких — турбінні пропелерні і лопатеві.

Процес змішування кормових матеріалів через специфічні особливості компонентів є складним і маловивченим. Пропоновані режими змішування кормів в основному базуються на експериментальних даних, одержаних на конкретних змішувальних установках у певних умовах.

Переміщення компонентів кормів всередині змішувальної місткості у більшості типів змішувачів пов'язане з використанням сил тертя між робочим органом і змішуваним матеріалом. Продуктивність таких установок прямо пропорційна швидкості руху робочого органу до того моменту, коли сили тертя робочого органу не зрівнюються з силами тертя між компонентами корму. Після цього продуктивність починає зменшуватися, а енергоємність процесу зростає. Тому залежно від в'язкості перемішуваної маси рекомендована певна швидкість робочого органу. Так, колова швидкість на кінці лопатевої мішалки становить, м/с: 3 – 2, 2,5 – 1,5 та 1,5 – 1,0 при в'язкості перемішуваної маси відповідно 0,001 – 40; 40 – 80 та 80 – 150 Па · с. Швидкість руху робочого органу також суттєво впливає і на якість кормосумішей, основним показником яких є нерівномірність змішування. Як приклад,

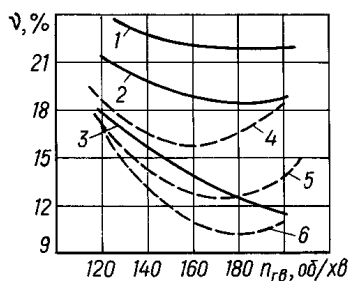


Рис. 5.16. Залежність нерівномірності змішування (v) від частоти обертання гвинта ($n_{гв}$) при зміні складу кормів та продуктивності (Q) бітерно-гвинтового змішувача:

1 – 3 — для великої рогатої худоби (солома, силос) при продуктивності відповідно 10, 20 і 30 т/год; 4 – 6 — для свиней (коренеплоди, комбікорм, січне борошно) при продуктивності відповідно 10, 20 і 30 т/год

на рис. 5.16 наведено результати досліджень бітерно-гвинтового змішувача, проведених науковцями УНДІМЕСГ. Аналіз графіків показує, що для досягнення необхідної якості змішування при зміні складу компонентів кормів та продуктивності машини необхідне регулювання швидкості обертання робочих органів.

Продуктивність змішувачів порційної дії Q , кг/с, визначається за виразом

$$Q = \frac{V\beta\gamma_{см}}{T_{ц}}, \quad (5.26)$$

де V — об'єм камери змішування, м^3 ; β — коефіцієнт заповнення, що приймається $\beta \leq 0,75$; $T_{\text{ц}}$ — тривалість циклу змішування, с.

Насипну масу сумішей, що готуються, $\gamma_{\text{см}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, розраховують за формулою

$$\gamma_{\text{см}} = \frac{m_1\gamma_1 + m_2\gamma_2 + \dots + m_n\gamma_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (5.27)$$

де m_1, m_2, \dots, m_n — маса складових компонентів кормосуміші, кг ; $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ — насипні маси відповідних компонентів, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Тривалість циклу порційних змішувачів поділяється на три складових: час завантаження компонентів $t_{\text{зав}}$, змішування $t_{\text{зм}}$ та вивантаження готової суміші $t_{\text{вив}}$:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{вив}}. \quad (5.28)$$

Час завантаження і вивантаження визначається продуктивністю завантажувальних і вивантажувальних конвеєрів (для рідких компонентів — пропускну здатністю трубопроводів та продуктивністю насосів). Час змішування залежить від виду кормосуміші і рекомендується:

- для кормосуміші, компоненти якої легко розподіляються (сухі сипкі) — 2 – 4 хв;
- при середній складності змішування — 5 – 7 хв;
- для сумішей, у складі яких є липкі, грубостеблі компоненти тощо, і які важко піддаються перерозподілу — 8 – 12 хв і вище.

Продуктивність змішувачів неперервної дії становить:

$$Q = F_{\text{п}}\beta v_0\gamma_{\text{см}}, \quad (5.29)$$

де $F_{\text{п}}$ — площа поперечного перерізу змішувача, м^2 ; β — коефіцієнт заповнення робочого об'єму, $\beta = 0,2 - 0,4$; v_0 — швидкість осевого переміщення потоку корму, $\text{м}/\text{с}$.

$$v_0 = L_{\text{зм}}t_{\text{зм}},$$

де $L_{\text{зм}}$ — довжина зони змішування, м ; $t_{\text{зм}}$ — час змішування, с.

Для різних кормосумішей і типів установок $v_0 = 0,005 - 0,025 \text{ м}/\text{с}$.

Швидкість обертання робочих органів змішувачів не перевищує кількох десятків обертів за хвилину. Для їх приводу використовують тихохідні електродвигуни та різні передачі: клинопасові, ланцюгові, циліндричні та черв'ячні редуктори, мотор-редуктори. Через низьку швидкість робочих органів зведений до вала електродвигуна момент інерції системи "електродвигун — робоча машина" визначається в основному моментом інерції ротора двигуна. Ця обставина позитивно впливає на зменшення часу перехідних процесів у системі та нагрівання двигуна при пуску.

Момент статичних опорів при запуску змішувачів без навантаження зумовлюється силами тертя в підшипниках та передачах. Оскільки коефіцієнт тертя спокою більший за коефіцієнт тертя руху, то момент зрушення мішалок дещо вищий за момент при русі і механічна характеристика має вигляд (крива 1), наведений на рис. 5.17.

У більшості випадків змішувачі, особливо порційні, запускаються під навантаженням. Наприклад, згідно з технологічною картою, мішалки змішувача С-12 треба пускати після завантаження корпусу на 1/3 його місткості. У цьому разі характер зміни моменту на валу інший (крива 2). Технологією приготування вологих сумішей із запарюванням у змішувачах типу СКО-Ф передбачається запуск мішалки після за-

ливання в корпус визначеної кількості води. У такому випадку механічна характеристика (крива 3) мішалки має вентиляторний характер. Таким чином, вигляд механічної характеристики змішувачів при їх нормальному запуску залежить від організації технологічного процесу машини.

Проте при розрахунку електроприводів змішувачів кормів слід передбачати і зупинку робочих органів машини з повністю заповненою місткістю, наприклад при спрацюванні апарата захисту. При цьому момент зрушення мішалок набагато перевищує момент статичних опорів при номінальній частоті обертання (кри-

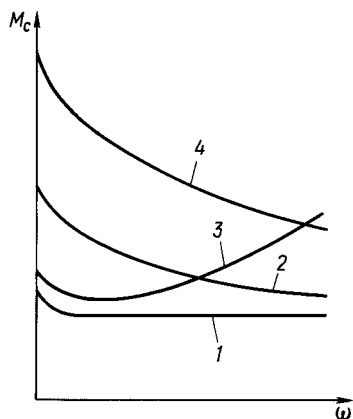


Рис. 5.17. Загальний вигляд механічних характеристик змішувачів кормів:

1 — при пуску вхолосту; 2 — при пуску змішувача С-12; 3 — при пуску змішувача СКО-Ф; 4 — при пуску повністю завантаженого змішувача

ва 4). Конкретні залежності визначаються аналітично або експериментально на конкретних машинах при певних видах кормосумішей.

Режим роботи електроприводів змішувачів неперервної дії тривалий із змінним навантаженням. Величина навантаження залежить від величини подачі компонентів у змішувач та їх якісних характеристик (вологості, крупності, однорідності тощо). При нерегульованій подачі коливання навантаження можуть бути значними (рис. 5.18, *a*). Для вирівнювання навантаження використовують регулятори, що змінюють подачу продукту у функції струму двигуна (рис. 5.18, *б*).

Характер навантажувальних діаграм порційних змішувачів залежить від організації технологічного процесу машини та її кінематичної схеми. Навантажувальна діаграма запарника-змішувача ЗС-6 складається з п'яти характерних періодів (рис. 5.19, *a*): I — пуск і робота мішалки без навантаження; II — завантаження компонентів корму в корпус; III — змішування і запарювання кормів; IV — вивантаження кормосуміші; V — робота мішалки вхолосту.

Децю відмінна навантажувальна діаграма змішувача С-12. Згідно з технологічною картою спочатку в корпус машини завантажується корм на 1/3 його місткості, потім вмикається привід мішалок і продовжується завантаження (період I на рис. 5.19, *б*). Період перемішування II — без запарювання триває 10 – 15 хв, із запарюванням — 1 – 3 год, після чого вмикається вивантажувальний шнек і починається період III — вивантаження корму. Через деякий час після спороження змішувача (період IV) привід мішалок вимикають. Тривалість періодів завантаження і вивантаження визначається продуктивністю відповідних конвеєрів та величиною порції оброблюваного корму.

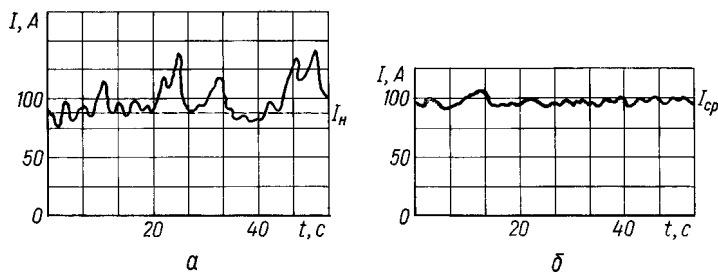


Рис. 5.18. Навантажувальні діаграми електродвигуна привода по-
дрібнювача-змішувача ИСК-3:

a — без регулятора; *б* — з регулятором

Методики розрахунку потужності, споживаної змішувачами, різноманітні, залежно від типу робочого органа.

Потужність P , кВт, необхідну для привода стрічкового (гвинтового) змішувача, визначають за виразом

$$P = QL(k \cos \alpha + \sin \alpha)10^{-3}, \quad (5.30)$$

де Q — продуктивність змішувача, кг/с; L — активна довжина мішалки, м; α — кут нахилу вала мішалки до горизонту, град; k — зведений коефіцієнт опору руху кормів по кожуху змішувача (для зерна і комбікормів — 1,2; сирого солоду — 1,5; солі — 2,5; коренеплодів, подрібнених на скибки, шматків м'яса — 8 – 10).

Потужність $P_{\text{л}}$, кВт, споживана лопатевою мішалкою, визначається за формулою

$$P_{\text{л}} = (F_{\text{п}}v_{\text{п}} + F_{\text{о}}v_{\text{о}})z_{\text{л}}10^{-3}, \quad (5.31)$$

де $F_{\text{п}}$ — зусилля на лопаті, що надає частинкам корму обертового руху, Н; $F_{\text{о}}$ — зусилля на лопаті, під дією якого частинки корму переміщуються в осьовому напрямку, Н; $v_{\text{п}}$, $v_{\text{о}}$ — відповідно колова та осьова швидкості переміщення маси корму, м/с; $z_{\text{л}}$ — кількість лопатей, одночасно занурюваних у корм.

Зусилля $F_{\text{п}}$ і $F_{\text{о}}$ знаходять шляхом розкладу нормальної складової сил опору $F_{\text{н}}$ на колову та осьову:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{н}} (\cos \alpha + f \sin \alpha); \quad (5.32)$$

$$F_{\text{о}} = F_{\text{н}} (\sin \alpha + f \cos \alpha), \quad (5.33)$$

де α — кут нахилу лопаті до осі обертання вала мішалки, град.

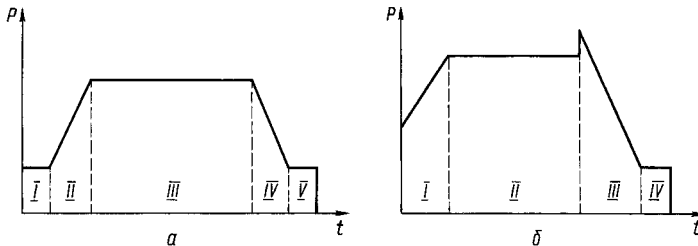


Рис. 5.19. Загальний вигляд навантажувальних діаграм змішувачів кормів: а — ЗС-6; б — С-12

Величина нормальної складової сил опору F_n визначається так:

$$F_n = 9,81\gamma h_{cp} S_{л} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5.34)$$

де γ — об'ємна маса корму, кг/м^3 ;
 h_{cp} — середня глибина, що дорівнює половині найбільшої глибини занурення лопаті (рис. 5.20), м;
 $S_{л}$ — проекція площі лопаті, зануреної в матеріал, на напрямок обертання, м^2 ; φ — кут внутрішнього тертя, град.

Значення колової швидкості можна знайти за виразом

$$v_p = \omega r_{cp}, \quad (5.35)$$

де ω — кутова швидкість мішалки, рад/с ; r_{cp} — середній радіус мішалки (відстань від осі обертання до точки прикладення рівнодійної сил опору), м.

Осьова швидкість дорівнює

$$v_o = v_p \cos \alpha \sin \alpha. \quad (5.36)$$

Потужність привода змішувачів порційної та неперервної дії можна також наближено визначити за формулою

$$P = Qq_e, \quad (5.37)$$

де q_e — питома енергоємність процесу, $\text{кВт} \cdot \text{год/т}$, Q — продуктивність змішувача, т/год .

Для порційних змішувачів $q_e = 1,0 - 1,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$, для змішувачів неперервної дії $q_e = 0,5 - 0,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$.

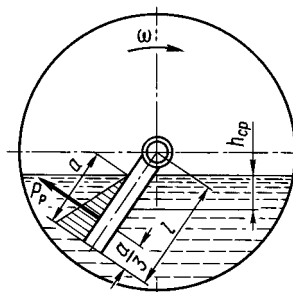


Рис. 5.20. Конструктивні параметри лопатевого змішувача

5.5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

У більшості випадків змішувачі кормів входять до складу поточкових ліній приготування кормосумішей. При цьому схеми їх автоматизації розробляють з дотриманням вимог до схем керування поточковими лініями. У випадку автономної роботи змішувача схемами керування передбачають нереверсивне або реверсивне керування двигунами, необхідні меха-

нічні та електричні блокування й захист від коротких замикань і перевантажень.

Автоматизація змішувача СКО-Ф-3. До складу комплекту обладнання СКО-Ф-3 входять змішувач, завантажувальний і вивантажувальний конвеєри. Робочі органи змішувача — мішалка, засувка та вивантажувальний шнек — приводяться в дію від окремих електродвигунів.

Система керування виконує такі функції:

- пряме вмикання електродвигунів у мережу;
- вмикання двигуна завантажувального конвеєра *M2* (рис. 5.21) після запуску двигуна мішалки *M1* та автоматичне його вимикання при заповненні місткості кормами;
- автоматичне вимикання двигуна *M4* при досягненні засувкою кінцевих положень;
- блокування, що запобігає відкриванню засувки при вимкненому вивантажувальному конвеєрі;
- автоматичний запуск двигуна вивантажувального шнека *M5* після повного відкривання засувки;
- автоматичне вимикання двигуна мішалки після закінчення заданої витримки часу з сигналізацією;
- блокування, що запобігає вмиканню двигуна мішалки при відкритій кришці оглядового люка;
- захист від коротких замикань і перевантажень;
- захист двигунів мішалки і конвеєрів від перегрівання.

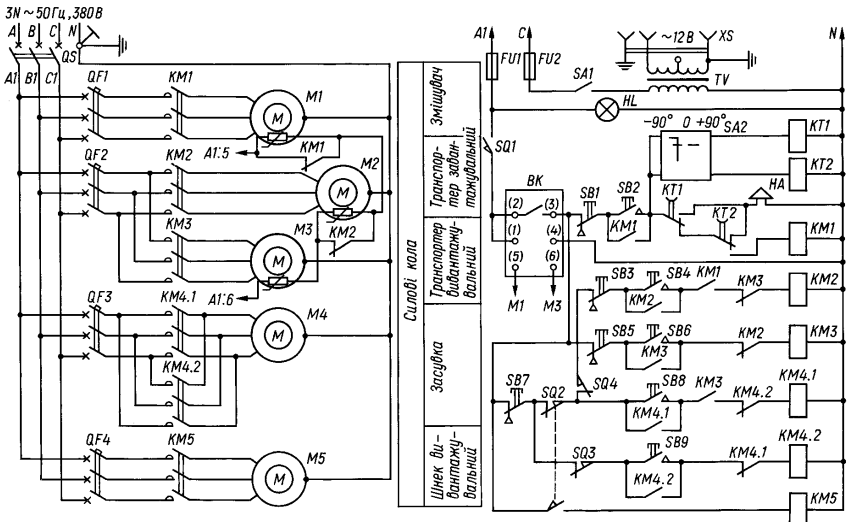


Рис. 5.21. Схема керування змішувачем кормів СКО-Ф-3

Схема керування працює так. При замкнених автоматичних вимикачах $QF1 - QF4$ вмикають пакетний вимикач QS , після чого загоряється сигнальна лампа HL . Якщо кришка оглядового люка закрита (замкнений $SQ1$) і не перегріті двигуни $M1 - M3$, замикається вихідний контакт пристрою температурного захисту BK . Для запуску двигуна мішалки $M1$ натискають на кнопку $SB2$. Після спрацювання пускача $KM1$ кнопкою $SB4$ запускають двигун завантажувального конвеєра $M2$. При досягненні заданого рівня корму в корпусі змішувача розмикається контакт кінцевого вимикача $SQ4$ і завантажувальний конвеєр зупиняється. Після закінчення визначеного часу змішування двигун мішалки зупиняється натисканням кнопки $SB1$. Для автоматичного вимикання двигуна $M1$ мішалки після закінчення заданої витримки часу передбачені реле часу $KT1$ і $KT2$ з регульованими витримками 1 – 10 год і 0,1 – 1 год відповідно, що вмикаються перемикачем $SA2$.

Для вивантаження кормосуміші з корпусу кнопкою $SB6$ вмикають двигун вивантажувального конвеєра $M3$, при цьому замикається контакт $KM3$ у колі котушки $KM4.1$. Кнопкою $SB8$ вмикають двигун $M4$, який відкриває засувку змішувача. Коли засувка відкривається повністю, кінцевий вимикач $SQ2$ перемикає контакти, внаслідок чого вимикається двигун привода засувки $M4$ і вмикається двигун вивантажувального шнека $M5$. Після вивантаження корму кнопкою $SB5$ вмикають двигун вивантажувального конвеєра, а кнопкою $SB9$ вмикають двигун привода засувки $M4$ на обертання у бік її закривання. При цьому автоматично вимикається вивантажувальний шнек, а після закривання засувки контактом $SQ3$ вимикається двигун її привода. Силкові кола від коротких замикань захищаються автоматичними вимикачами $QF1 - QF4$, кола керування — запобіжниками $FU1 - FU2$. Від перегрівання двигуни конвеєрів і мішалки захищені пристроєм вмонтованого температурного захисту BK . Для вмикання переносного світильника передбачено розетку XS , що живиться від знижувального трансформатора TV .

5.6. КОМПЛЕКТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ

Проектними організаціями розроблено ряд типових проектів механізованих кормоприготувальних заводів і цехів міжгосподарського та внутрішньогосподарського призначення. Міжгосподарськими, як правило, є комбикормові заводи. У господарствах будують кормоцехи, де готують прості або

повнораціональні кормові суміші з різних видів кормів місцевого виробництва з добавками спеціальних компонентів промислового виробництва. Основною частиною кормоцеху є поточкова технологічна лінія. Набір машин та обладнання технологічної лінії залежить від виду та кількості худоби і виду перероблюваних кормів. Особливістю більшості кормоцехів є застосування серійного обладнання, виготовлюваного промисловою.

Для виробництва комбікормів використовують комплекти обладнання типу ОКЦ та ОЦК продуктивністю від 7,5 до 2 т/год. Вологі кормосуміші для свиней готують за допомогою комплектів КЦС-6000, КЦ-24, КПО-150, К-С-17, КПО-35, КПО-75 та ін. Кормоцехи ферм великої рогатої худоби комплектують обладнанням типів КЦК-5-1, КЦК-5-2, КОРК-15; вівцеферми — КЦО-15, КЦО-20.

Привід машин у кормоцехах здійснюють від асинхронних електродвигунів. Для привода дозаторів використовують також регульовані електроприводи постійного струму з двигунами незалежного збудження. Схеми керування електроприводами розробляють із врахуванням вимог, що ставляться до електроприводів потокових ліній.

Окрему групу складають комплекти обладнання для приготування вітамінного борошна, гранульованих та брикетованих кормів. До них входять сушильні агрегати АВМ-0,65Р, АВМ-1,5Б, АВМ-1,5Р, АВМ-3,0, обладнання для гранулювання трав'яного борошна ОГМ-0,8А, ОГМ-0,8Б, ОГМ-1,5, ОГМ-1,5А, обладнання для гранулювання та брикетування кормів ОПК-2А.

Агрегат АВМ-1,5Б використовують для сушіння трав і приготування з них трав'яного борошна або січки. Його можна також використовувати для сушіння і подрібнення зерна і коренеплодів, гички, жому цукрових буряків, соломи та інших видів кормів.

Розроблено дві модифікації агрегату: АВМ-1,5БЖ — для роботи на рідкому паливі та АВМ-1,5БГ — на природному газу.

Агрегат складається з таких основних частин (рис. 5.22): живильника-завантажувача кормів ПЗМ-1,5, транспортера, теплогенератора, сушильного барабана, двох уніфікованих дробарок, великого циклона, димососа, системи відведення борошна, системи рециркуляції, електроприводів.

Агрегат працює так. Скошена і подрібнена трава надходить до сушильного агрегату і вивантажується в лотік 1 живильника ПЗМ-1,5. Двома гідроциліндрами 2 лотік піднімається вільним кінцем вгору і подає сировину на конвеєр 3.

Полотно конвеєра з регульованою швидкістю руху підтягує масу до відбійного бітера 9, який відкидає надлишки трави, а маса, що залишилася, бітером 10 подається на гвинтовий транспортер 11. З останнього маса надходить на транспортер 4 агрегату, де вирівнюється бітером 12 і подається в сушильний барабан 13.

Продукти згоряння палива у топці 5 змішуються з повітрям, що засмоктується димососом 16 через кільцевий простір 7, і створюють теплоносії з температурою 500 – 900 °С. В обортовому сушильному барабані 13 висушувана маса підхоплюється лопатями насадки та піднімається вгору, зсипається на лопаті хрестовин і одночасно транспортується вздовж барабана. Легкі висушені частинки потоком газів швидко виносяться з барабана у великий циклон 15, а важкі, вологіші фракції повертаються на досушування. У циклоні 15 суха різка відділяється від теплоносія і через шлюзовий затвор 19 надходить у дробарки 20. Важкі і сторонні предмети відділяються у відбірнику 14. Відпрацьований теплоносії вентилятором 8 виводиться з циклона, причому близько 30 % його подається в систему рециркуляції. Використання системи рециркуляції відпрацьованого теплоносія дає змогу зекономити 7 – 12 % палива. Суха маса, подрібнена дробарками, потоком повітря, створеним вентилятором 21, подається в циклони 22 системи відведення борошна. Відділене від повітря борошно через дозатори 23 вивантажується на розподільний шнек 24, звідки направляється у мішки або на гранулювання.

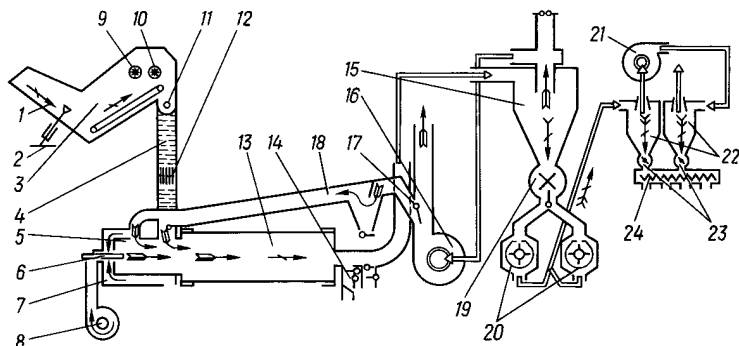


Рис. 5.22. Технологічна схема агрегату АВМ-1,5Б:

1 — лоток; 2 — гідроциліндр; 3 — конвеєр; 4 — транспортер; 5 — топка; 6 — палиник; 7 — кільцевий простір; 8 — вентилятор топки; 9 — відбійний бітер; 10 — подавальний бітер; 11 — гвинтовий транспортер; 12 — бітер; 13 — сушильний барабан; 14 — відбірник важких частинок; 15 — великий циклон; 16 — димосос; 17 — заслінка; 18 — труба системи рециркуляції; 19 — шлюзовий затвор; 20 — дробарки; 21 — вентилятор системи відведення борошна; 22 — циклони; 23 — дозатори; 24 — розподільний шнек

Система автоматичного регулювання процесу сушіння забезпечує стабілізацію вологості сухого корму. Вихідними параметрами системи є температура теплоносія і вологість висушеної трав'яної січки. Керування здійснюється зміною подачі палива і вихідної сировини.

До системи регулювання входить термopара 13 (рис. 5.23), встановлена на виході сушильного барабана 12, регулятор подачі палива 6 з виконавчим механізмом 4.1 і пусковим пристроєм 3.1, регульовані приводи стрічок транспортера 2 і конвеєра 1 з електродвигунами постійного струму 19 і тиристорними станціями керування 18, поточний вологомір 15, блок узгодження 17, блок відбору 16, регульовальний електронний пристрій 9.1 та коректувальні електронні прилади 8.1 і 8.2.

Алгебраїчна сума сигналу вологості висушеного корму, яка вимірюється потоковим вологоміром 15, і сигналу швидкості зміни температури теплоносія на виході сушильного барабана, який формується в коректувальному приладі 8.2 типу К16.1 за сигналом термopари 13, порівнюється з сигналами

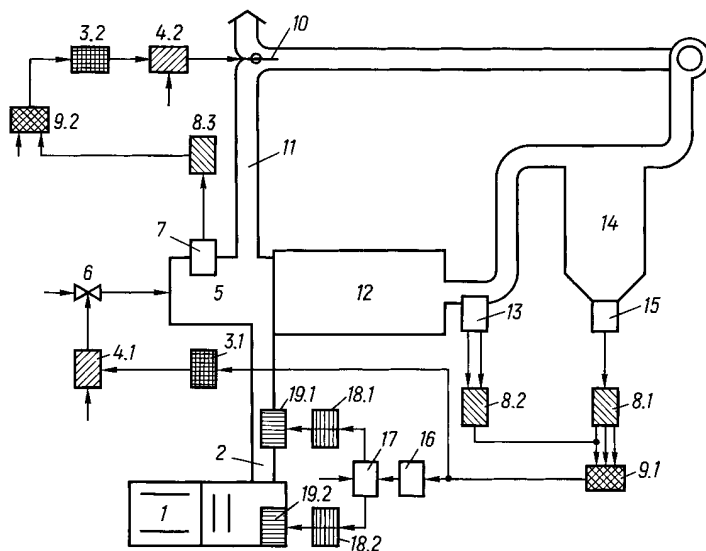


Рис. 5.23. Структурна схема автоматичного керування процесом сушіння агрегату АВМ-1.5Б:

1 — конвеєр; 2 — транспортер; 3 — пусковий пристрій; 4 — виконавчий механізм; 5 — теплогенератор; 6 — регулятор подачі палива; 7 — датчик тяги; 8 — коректувальний електронний прилад; 9 — регульовальний електронний прилад; 10 — заслінка; 11 — система рециркуляції теплоносія; 12 — сушильний барабан; 13 — термopара; 14 — система відведення сухої маси; 15 — потоковий вологомір; 16 — блок відбору; 17 — блок узгодження; 18 — тиристорна станція керування; 19 — електродвигун постійного струму

лом заданої вологості різки в регульовальному приладі типу Р25.1. За різницею вхідних сигналів формується керуючий сигнал на виконавчий механізм 4.1 регулятора подачі палива 6 та електропривода транспортера 2 і конвеєра 1, які змінюють подачу сирого матеріалу до сушильного барабана. Якщо температура теплоносія на вході до сушильного барабана перевищує значення, встановлене на мілівольтметрі, дія на зміну подачі палива припиняється.

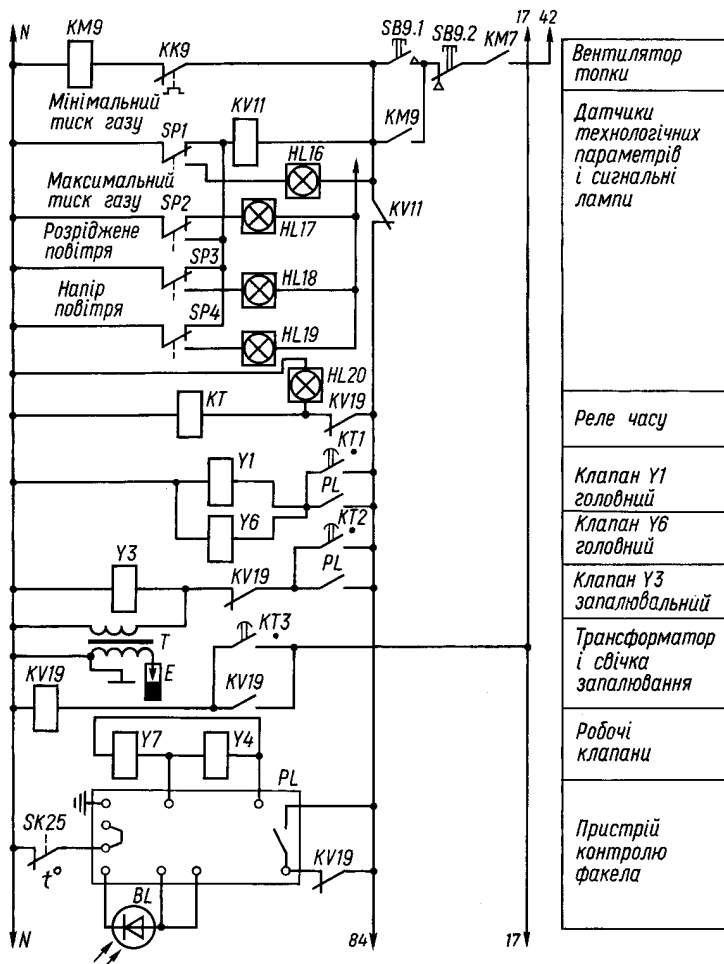


Рис. 5.24. Схема керування розпалюванням теплогенератора АВМ-1,5БГ

Система автоматичного керування рециркуляцією забезпечує зміну кількості рециркульованого теплоносія залежно від розрідження в топці. Вона складається з датчика тяги 7, регульовального приладу 9.2, пускового пристрою 3.2 і виконавчого механізму 4.2. При відхиленні розрідження у теплогенераторі від заданого значення регульовальний прилад через пусковий пристрій приводить у дію виконавчий механізм, який повертає заслінку 10 у вихлопній трубі агрегату.

Система автоматичного керування включається в роботу через 40 – 80 хв після запуску агрегату, тобто в установленому режимі його роботи. Для виходу на цей режим регульовальний прилад 9.1 вимірює різницю між температурою за сушильним барабаном та її заданим значенням і формує керуючий сигнал для корекції подачі палива і сирого матеріалу.

Схемами керування всіх агрегатів вітамінного борошна передбачена автоматизація розпалювання і контроль за процесом роботи теплогенератора.

Автоматичне розпалювання теплогенератора АВМ-1,5БГ (рис. 5.24) починається одночасно з вмиканням пускача КМ9 вентилятора теплогенератора. Коли тиск газу, розрідження у топці та напір вентилятора, що контролюються датчиками SP1 – SP4, знаходяться в межах норми, горять сигнальні лампи HL16 – HL19, реле KV11 знеструмлене, одержують живлення програмне реле часу КТ і пристрій контролю факела PL. На останній напруга подається через контакти SK25 і KV19. Лампа HL20 сигналізує, що процес розпалювання проходить нормально. Через 120 с закінчується продувка агрегату, контакт КТ.1 вмикає головні клапани Y1, Y6 на газопроводі і починається продувка газопроводу на свічку безпеки. Через 10 – 15 с машиніст закриває клапан безпеки, а контакт реле КТ.2 вмикає клапан Y3 і трансформатор T системи запалювання. Запальний пристрій E запалює газ, факел освітлює датчик BL приладу контролю полум'я PL, який спрацьовує, вмикає робочі клапани Y4, Y7 і стає на саможивлення. Через 10 с контакт КТ.3 вмикає реле KV19, яке знеструмлює реле КТ, клапан Y3, трансформатор T та розмикає контакт у колі живлення PL. Контакти реле КТ розмикаються, а клапани Y1 і Y6 одержують живлення через замкнений контакт PL. Температурне реле SK25 контролює температуру газів на виході з сушильного барабана. При відриві полум'я або спрацьованні реле SK25 вмикається прилад PL і закриваються робочі Y4 і Y7 та головні Y1

і У6 клапани на газовій магістралі. При відхиленні тиску газу, напорі повітря або розрідження у топці від норми відповідний датчик вмикає реле *KV11*, яке розмикає контакт і вимикає подачу газу в теплогенератор.

6. ЕЛЕКТРОПРИВІД ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК І МАШИН ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА

Рівень механізації доїння корів і первинної обробки молока досягає нині **90 – 95 %**. До первинної обробки молока відносять його охолодження, пастеризацію та очищення. Механізація та електрифікація процесу доїння значно полегшує працю доярок, при цьому підвищується продуктивність праці у 2 – 4 рази порівняно з ручним доїнням.

Первинну обробку молока здійснюють з метою збереження його харчової і технологічної цінності на тривалий проміжок часу.

Широкого розповсюдження набув доїльний агрегат АДМ-8А з молокопроводом, призначений для машинного доїння корів у стійлах, транспортування молока у молочне приміщення, групового обліку видоєного молока, фільтрації, охолодження та подавання до резервуарів на зберігання. Доїльні апарати з'єднуються із скляними вакуум- та молокопроводами, які встановлено над стійками корівника, за допомогою суміщених молочно-вакуумних кранів. У приміщенні молочної змонтовані системи промивання і первинної обробки молока. Привід силової вакуумної установки електричний. Молоко з доїльного апарата надходить до пристрою зоотехнічного обліку (за умови контрольних доїнь) або безпосередньо до молокопроводу, а потім транспортується у молочне приміщення до дозаторів та молокоприймальника, відокремлюється від повітря молочним насосом, через фільтр і охолодник перекачується до резервуара-холодильника для зберігання. Під час промивання миючий розчин відсмоктується з посудини через доїльні апарати, систему молочних трубопроводів і надходить до молокоприймальника. Розчин за допомогою насоса перекачується назад до посудини для повторного використання або зливання у каналізацію.

Агрегат випускається у двох варіантах: АДМ-8А-1 і АДМ-8А-2. Порівняно з агрегатом АДМ-8, продуктивність

праці підвищується на 14 %, надій молока за рахунок зниження захворюваності корів — на 18 %. Завдяки використанню спрощеної схеми молочно-вакуумної лінії, точнішого вимірювання кількості видоєного молока за допомогою пристрою зоотехнічного обліку молока ПЗМ-1А, зменшуються затрати праці на монтаж і технічне обслуговування, а також виключаються втрати і забруднення молока під час наповнювання молокоприймальника.

Для малих ферм використовують доїльний агрегат з молокопроводом АДМ-8А-1 (виконання 05 та 06) замість ДАС-2В і АД-100Б. У цьому агрегаті відсутній пластинчастий охолодник, автоматичну систему обмивання вимені замінено на механічну, пристрій керування молочним насосом виробництва Німеччини — вітчизняним.

Для машинного доїння корів у доїльних станках з індивідуальним впусканням та випусканням, транспортуванням молока у молочне відділення, фільтрації та охолодження використовується доїльна установка “Тандем-автомат” УДА-8А. Установка складається з комплекту станків (стіл) на 8 місць, технологічної лінії та лінії промивання, 8 маніпуляторів доїння. Порівняно з УДА-8 конструкція доїльних станків простіша.

Доїльна автоматизована установка “Ялинка-автомат” УДА-16А використовується для машинного доїння корів у групових доїльних станках та первинної обробки молока на молочних фермах. Установка складається з двох секцій (кожна на 8 корів). У кожній секції вісім дозаторів роздавання концентрованих кормів, які подаються транспортером. Молоко з доїльного автомата через індикатор обліку надходить до молокопроводу молочного відділення і молочним насосом крізь фільтр та пластинчастий охолодник подається в місткість для зберігання. Установка промивається автоматично згідно з заданою циклограмою. До установки додатково може постачатися кормороздавач УДА-102.000.

Доїльні автоматизовані установки “Ялинка” УДА-16А і “Тандем” УДА-8А із зніманням інформації та АСУТП призначені для машинного доїння корів у доїльному залі з автоматизацією доїння, збирання та обліку молока, автоматичного індивідуального нормованого годування корів концентрованими кормами залежно від їх фізіологічного стану (стадія лактації, продуктивність тощо), одержання, обробки, зберігання та передачі інформації для керування зооветеринарною роботою, а також виділення тварин за низкою ознак для зооветеринарного обслуговування.

Для машинного доїння корів в індивідуальних доїльних станках у літніх таборах і пасовищних центрах використовують доїльні табірні установки УДЛ-Ф-12 і УДЛ-Ф-12-1.

6.1. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВАКУУМ-НАСОСІВ, МОЛОЧНИХ НАСОСІВ, СЕПАРАТОРІВ

Електропривід вакуум-насосів. Для роботи доїльних апаратів необхідний вакуум, який одержують за допомогою вакуумних насосів. Сучасні доїльні установки комплектуються ротаційними вакуумними насосами УВУ-60/45.

Ротаційний лопатевий вакуум-насос (рис. 6.1) складається з ребристого чавунного корпусу 3, ротора 1 з текстолітовими лопатками 2, задньої та передньої ребристих кришок. Чотири текстолітові лопатки розміщені радіально в пазах ротора і при його обертанні під дією відцентрової сили притискаються до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу. Внаслідок ексцентричного розміщення ротора об'єм простору між кожною парою лопаток змінюється. З одного боку відбувається всмоктування повітря з трубопроводу, з іншого — стикування і викидання його в атмосферу.

Таким чином, вакуум-насос перетворює механічну енергію на потенціальну енергію тиску (з від'ємним знаком), яка потім перетворюється на кінетичну енергію всмоктування молока з вимені і транспортування його до місця приймання та очищення.

До складу вакуумної установки входять також вакуум-регулятор 4, вакуумметр 5, вакуум-балон 6 та вакуум-провід 7.

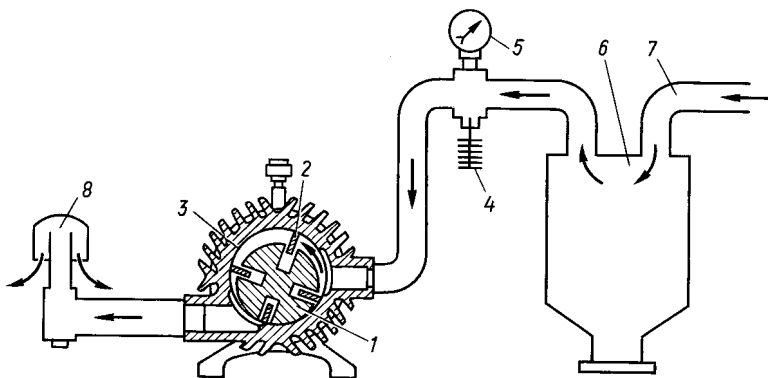


Рис. 6.1. Технологічна схема вакуумної установки:

1 — ротор вакуум-насоса; 2 — лопатки; 3 — корпус; 4 — вакуум-регулятор; 5 — вакуумметр; 6 — вакуум-балон; 7 — вакуум-провід; 8 — вихлопний пристрій

Вакуум-насос з'єднується з електродвигуном за допомогою клинопасової передачі.

Механічна характеристика вакуум-насоса має слабковиявлений вентиляційний характер, а навантажувальна діаграма являє собою незалежний від часу роботи насоса графік, паралельний осі абсцис після пуску. Оскільки доіння корів відбувається протягом 2 год, режим роботи тривалий. Потужність електродвигуна P , Вт, для привода ротаційного вакуум-насоса визначається за формулою

$$P = \frac{Q_H H_H}{\eta_{\Pi} \eta_H}, \quad (6.1)$$

де Q_H — подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H_H — вакуум, який розвиває насос, Па; η_{Π} — коефіцієнт корисної дії передачі; η_H — коефіцієнт корисної дії вакуум-насоса.

Подача насоса має забезпечити необхідну витрату повітря, яка визначається як сума витрат повітря усіма доїльними апаратами і різних втрат повітря внаслідок нещільності у вакуум-проводі та молокопроводі, просмоктувань крізь доїльні стакани під час надівання їх на дійки, просмоктувань між дійками та сосковою гумою, а також внаслідок спадання шлангів з кранів.

Подача Q_H , $\text{м}^3/\text{с}$, ротаційного вакуум-насоса визначається за виразом

$$Q_H = L \left(D - \frac{bz}{\pi} \right) e \omega \eta, \quad (6.2)$$

де L — довжина ротора, м; D — внутрішній діаметр циліндра, м; b — товщина лопатки, м; z — кількість лопаток ротора; e — ексцентриситет, м; ω — кутова швидкість ротора, $1/\text{с}$; η — об'ємний ККД, $\eta = 0,75 - 0,8$.

Виходячи з потрібного вакууму і подачі, вибирають потрібну кількість вакуум-насосів з урахуванням резерву.

Під час роботи вакуумної установки необхідно підтримувати вакуум 47 – 48 кПа, необхідний для нормальної роботи доїльних стаканів. На практиці рекомендується підбирати діаметр вакуум-проводу та його конфігурацію такими, щоб падіння у ньому вакууму не перевищувало 2,5 кПа.

Під час вибору вакуум-насоса необхідно звертати увагу на його основну характеристику, які відбиває залежність подачі насоса від величини вакууму, а також на забезпечення нормального вакууму у вакуум-проводі.

При машинному доїнні корів для створення вакууму потрібна вакуумна уніфікована установка УВУ-60/45А. На відміну від УВУ-60/45 вона має меншу масу, більш високу продуктивність, забезпечує зручність монтажу і технічного обслуговування. Для привода вакуум-насоса використовується асинхронний короткозамкнений двигун із номінальною частотою обертання 1430 об/хв потужністю 4 кВт. При цьому забезпечується подача 60 м³/год. Клинопасова передача дає змогу на шківках інших діаметрів одержати швидкість вакуум-насоса 1220 об/хв, при цьому потужність електродвигуна становить 3 кВт, а подача насоса — 45 м³/год.

Електропривід молочних насосів. Молочні насоси призначені для транспортування молока трубопроводами та по технологічній апаратурі, не обладнаній власними напірними пристроями. Для цього використовують відцентрові та діафрагмові насоси. Для в'язких рідин (вершків тощо) використовують шестеренчасті насоси. Їх встановлюють нижче рівня місткості, щоб виключити необхідність заповнення насоса рідиною перед пуском.

Потужність електродвигуна P , Вт, для привода насоса визначають за виразом

$$P = \frac{QH\gamma}{\eta_M}, \quad (6.3)$$

де Q — подача насоса, м³/с; H — напір, необхідний для подачі молока на певний рівень з урахуванням втрат, м; γ — питома вага рідини, Н/м³; η_M — механічний ККД насоса, $\eta_M = 0,8 - 0,9$ — для поршневих, $\eta_M = 0,1$ — для відцентрових, $\eta_M = 0,5$ — для діафрагмових насосів.

Найширше використовують універсальний молочний насос НМУ-6. Він найкраще задовольняє техніко-економічні та гігієнічні вимоги. Насос складається з корпусу із всмоктувальним і нагнітальним патрубками, електродвигуна закритого обдунного виконання потужністю 1,1 кВт і частотою обертання 2880 об/хв. Ротор електродвигуна передає обертання крильчатці насоса. Подача води з місткості під вакуумом 0,6 МПа становить від 2 до 6 м³/год за умов напору 1 та 0,6 МПа відповідно. Для вмикання та вимикання насоса молокозбірник доїльної установки оснащений автоматом пуску. Згідно з технологією насос забезпечує промивання всієї системи в технологічній лінії, після чого частково розбирають і вручну промивають деталі насоса. Механічна характеристика насоса має вентиляторний характер, а навантажувальна

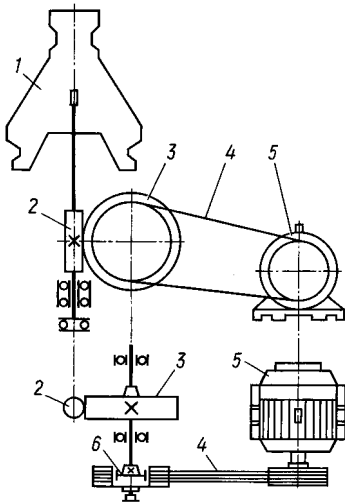


Рис. 6.2. Кінематична схема електропривода сепаратора:

1 — барабан; 2 — черв'як; 3 — шестірня; 4 — клинопасова передача; 5 — електродвигун; 6 — відцентрово-фрикційна муфта (або шків)

діаграма — вигляд прямої, паралельної осі абсцис. При виборі потужності електродвигуна враховують тривалий режим роботи молочного насоса.

Подача відцентрового насоса залежить від напору та частоти обертання, тому, користуючись напірними характеристиками, можна визначити інші характеристики насоса.

Електропривід сепараторів молока.

Для виділення молочного жиру з молока використовують сепаратори. Принцип дії сепаратора ґрунтується на здатності механічних сумішей розподілятися у полі дії відцентрових сил за рахунок різної густини сумішей, з яких вони складаються. Розподіл відбувається всередині сепараторного барабана, який обертається з великою частотою, причому щільніші частинки (молочний жир) пересуваються до периферії. Виходячи з технологічного процесу, до електропривода сепаратора висувають жорсткі вимоги відносно частоти обертання барабана. За умови значних коливань швидкості порушується процес сепарування і стає можливим момент, коли вершки будуть відходити до молочник відвійок, а ті, навпаки, зможуть потрапляти до вершків. Тому для привода сепараторів використовують трифазні асинхронні електродвигуни, які мають жорстку механічну характеристику.

Незважаючи на різноманітне технологічне призначення молочних сепараторів, конструктивно вони відрізняються тільки будовою барабана. Кінематичну схему електропривода сепаратора наведено на рис. 6.2. Від електродвигуна 5 обертання через клинопасову передачу 4, відцентрово-фрикційну муфту (або шків) 6, шестірню 3 та черв'як 2 передається барабану 1. Характерним для привода барабана є те, що передаточне число менше за одиницю:

$$i = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{бар}}} < 1.$$

Барабани сепараторів мають частоту обертання, яка у 2 – 4 рази перевищує найбільшу швидкість обертання ротора асинхронного електродвигуна, тому зведений момент інерції системи двигун — робоча машина досить великий. Виходячи з основного рівняння руху електропривода, час розгону сепаратора перебуває у прямій залежності від зведеного моменту інерції. Залежно від типу сепаратора і схеми пуску розгін барабана триває 100 – 480 с.

Механічна характеристика сепаратора має вентиляторний характер і без урахування резонансних піків може бути виражена залежністю

$$M_c = M_0 + b\omega^2,$$

де M_c — момент опору сепаратора, зведений до вала електродвигуна, Н · м; M_0 — початковий момент опору, $M_0 = (0,2 - 1,0)$ Н · м; b — коефіцієнт пропорційності, який залежить від якості обробки елементів кінематичної схеми привода, маси барабана, ступеня шорсткості поверхні барабана, Н · м/(рад/с)²; ω — кутова швидкість барабана, рад/с.

Для сепараторів продуктивністю 50 – 1000 л/год $b = 1,8 \cdot 10^{-6}$ Н · м/(рад/с)².

Потрібна потужність електродвигуна P , кВт, для привода сепаратора у робочому режимі може бути визначена за виразом

$$P = kM_c\omega, \quad (6.4)$$

де k — 1,2 – 2 — коефіцієнт, який враховує потужність, необхідну для надання кінетичної енергії рідині, що надходить до барабана, а також для подолання гідродинамічних втрат, втрат тертя у підшипниках, передавальному механізмі тощо.

Під час розгону сепаратора в механічній характеристиці його можливе виникнення резонансних піків. Особливо небезпечні вони на початковій стадії розгону, коли пік в механічній характеристиці сепаратора збігається при початковій швидкості з мінімальним моментом на механічній характеристиці асинхронного електродвигуна. Тому робоча частота обертання вала барабана сепаратора не повинна знаходитися у зоні резонансу коливань. Це основна умова нормальної роботи сепаратора.

При вмиканні сепаратора у роботу розрізняють такі три режими:

1 — пуск у дію, коли потужність електродвигуна зменшується від пускової до потужності холостого ходу;

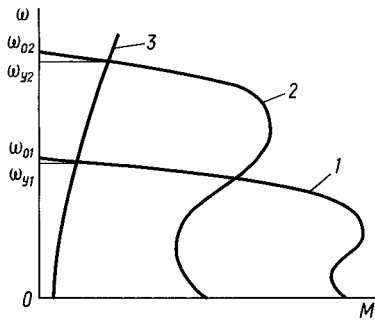


Рис. 6.3. Механічні характеристики двошвидкісного електродвигуна (1, 2) і сепаратора (3)

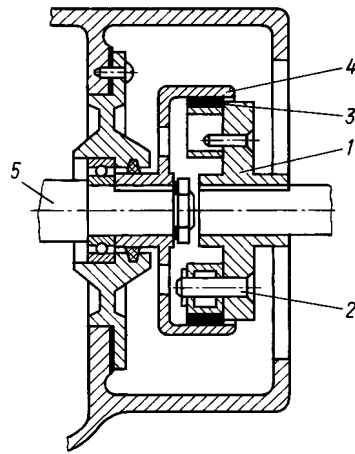


Рис. 6.4. Відцентрово-фрикційна муфта сепаратора:

1 — диск; 2 — палець; 3 — колодки; 4 — ведений барабан; 5 — привідний вал сепаратора

2 — прикладання навантаження, коли потужність трохи збільшується, а потім спадає;

3 — усталений режим при постійному навантаженні та частоті обертання.

В умовах перехідного режиму під час пуску момент, що створюється механічними коливаннями системи в період першого резонансу та биття, більший за сумарний статичний момент в 1,5 – 2 рази. Пускова потужність сепаратора в 1,3 – 2 рази більша за потрібну потужність у робочому режимі.

Якщо для привода сепаратора встановити трифазний асинхронний короткозамкнений електродвигун згідно з потужністю сталого режиму сепарування, то кратність пускового моменту має бути не менше за 1,8 – 2, кратність максимального моменту — 2,2 – 2,4, а кратність мінімального моменту — 1,0. Встановлювати для привода сепаратора двигуни із завищеною потужністю недоцільно, оскільки під час пуску виникають додаткові динамічні зусилля, які можуть призвести до поломки черв'ячної пари. Тому для полегшення пуску використовують двошвидкісні двигуни, або одношвидкісні з відцентрово-фрикційною муфтою.

Механічні характеристики двошвидкісного двигуна та сепаратора, наведені на рис. 6.3, показують, що динамічний момент на першій швидкості майже у 2 рази більший, ніж на другій. Тому розгін здійснюється за умов великого моменту і меншої швидкості. Коли швидкість двигуна досягає певного значення, автоматично відбувається перемикання

обмотки статора двигуна на другу підвищену швидкість. З цією метою на валу електродвигуна встановлено тахогенератор, який підключено до обмотки проміжного реле. Оскільки розгін здійснюється при більшому моменті, то час пуску скорочується, зменшується і нагрівання двигуна. Загальні втрати у двигуні в цьому випадку у два рази менші, ніж при одноступінчастому пуску.

Відцентрово-фрикційну муфту наведено на рис. 6.4. При вмиканні електродвигуна диск, закріплений шпонкою на валу електродвигуна, починає обертатися. Пальці 2 починають тягти колодки 3, які ковзають по внутрішній циліндричній поверхні барабана 4, насадженого на горизонтальний вал привода сепаратора. Коли швидкість диска 1 дорівнює нулю або близька на нього, то зчеплення колодок із внутрішньою

поверхнею барабана дорівнює нулю, тому момент від вала двигуна до веденого привідного вала 5 не передається. При збільшенні частоти обертання відцентрова сила зростає, колодки притискаються до внутрішньої поверхні барабана і відповідно зростає сила тертя між колодками і барабаном. Розміри барабана, колодок та матеріали для їх виготовлення вибирають так, щоб механічні характеристики електродвигуна і відцентрово-фрикційної муфти перетинались на робочій ділянці механічної характеристики за умови значення моменту, близького до критичного (рис. 6.5). При цьому починається розгін електропривода при великому надлишковому

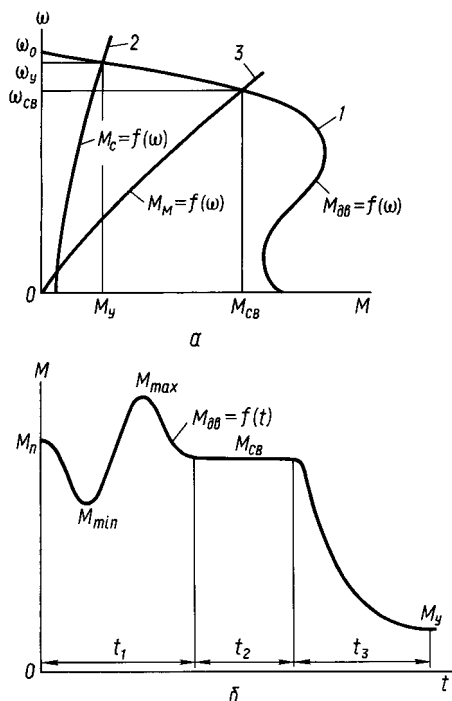


Рис. 6.5. Привідні характеристики сепаратора:

a — механічні характеристики двигуна (1), сепаратора (2) та муфти (3); *б* — навантажувальна діаграма електродвигуна на період розгону сепаратора

моменті. Струм електродвигуна у початковий момент досягає пускового, а потім за частки секунди знижується до 1,5 – 2 кратного значення, при якому і відбувається розгін сепаратора. При вмиканні без відцентрово-фрикційної муфти пусковий струм впливає на обмотки практично увесь час періоду розгону. Нагрівання електродвигуна при пуску з відцентрово-фрикційною муфтою знижується у кілька разів, при цьому зменшується час розгону електропривода внаслідок того, що надлишковий момент є досить значним. У зв'язку з тим, що під час розгону сили тертя і ковзання також значні, відбувається посилене нагрівання муфти, тому рекомендується здійснювати не більше 2 пусків-розгонів підряд.

При вмиканні електродвигуна швидкість ротора майже миттєво досягає значення $\omega_{\text{св}}$, при цьому встановлюється момент $M_{\text{св}}$, за умов якого починається розгін привідного вала сепаратора. Від моменту $M_{\text{св}}$ до $M_{\text{у}}$ відцентрово-фрикційна муфта працює із значним ковзанням, при цьому швидкість привідного вала сепаратора зростає від 0 до $\omega_{\text{у}}$. За час t_1 , який триває частки секунди, момент електродвигуна змінюється від пускового значення $M_{\text{п}}$ до $M_{\text{св}}$, яке визначається моментом зчеплення між колодками муфти та веденим барабаном. За час t_2 відбувається розгін барабана від нерухомого стану до швидкості $\omega_{\text{св}}$, а на дільниці t_3 момент електродвигуна зменшується від значення $M_{\text{св}}$ до сталого $M_{\text{у}}$, який визначається точкою перетину механічних характеристик сепаратора та електродвигуна.

Тривалість періодів t_1 та t_3 становить 5 – 7 % загальної тривалості розгону.

Електропривід молочних сепараторів належить до нерегульованих приводів із запуском вхолосту і тривалим режимом роботи. Тривалість безперервної роботи сепаратора при відокремленні вершків досягає 2 год, очищенні молока 4 год, після чого необхідне розбирання та очищення барабана сепаратора.

Технічна характеристика сепараторів, які використовуються на молочних фермах, сепараторних пунктах і молокозаводах, наведена в табл. 6.1.

6.1. Технічна характеристика сепараторів

Показник	Марка сепаратора			
	СОМ-3-1000М	СПМФ	ОСП-3М	ОМА-3М
Маса барабана, кг	16,3	60	125	207
Подача, м ³ /год	1	2	3	5
Частота обертання барабана, об/хв	8100	7200	6500	6500
Потужність електродвигуна, кВт	0,6	3,0	4,0	5,5
Тип електродвигуна	4АМ71А4У2	4АМ100S4У2	4АМ100L4У2	4АМ112М4У2

6.2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН І ПАСТЕРИЗАТОРІВ МОЛОКА

Електропривід холодильних машин. Використання штучного холоду для технологічних цілей у виробництві молока — неодмінна умова забезпечення якості та зберігання продукту. Для великих ферм придатні компресорні установки. Принцип роботи холодильної машини ґрунтується на властивостях деяких речовин перебувати у рідкому стані при підвищеному тиску, перетворюватись на пару зі зниженням тиску та кипіти при низьких температурах. Робочий процес холодильної машини проходить за замкненим циклом. Як холодоагент для холодильних машин найчастіше використовують фреон.

Поршневий компресор у холодильній установці перетворює механічну енергію на потенціальну енергію тиску газу, нагнітаючи його до конденсатора, який омивається ззовні холодною водою, і де газ перетворюється на рідину. Цей процес супроводжується перетворенням потенціальної енергії тиску газу на теплову, що відбирається водою, та кінетичну, за рахунок якої рідина надходить через дроселюючий клапан до випарника. Тут внаслідок зниження тиску рідина випаровується. З випарника газ знову надходить до компресора і цикл повторюється.

Для визначення потрібної потужності двигуна та витрат на охолодження певного об'єкта треба, виходячи з технологічних умов і продуктивності молочної, знати необхідну холодопродуктивність Q , кДж/год, яка залежить від продуктивності компресора L , м³/год, та об'ємної холодопродуктивності відсмоктуваних парів холодильної рідини q , кДж/м³, тобто $Q = Lq$.

Подачу компресора L , м³/с, визначають за виразом

$$L = iFSn\lambda = L_0\lambda, \quad (6.5)$$

де i — кількість всмоктувальних сторін поршня; F — площа поршня, м²; S — хід поршня, м; n — число ходів поршня за секунду; λ — коефіцієнт подачі компресора (або об'ємний ККД, що дорівнює 0,85 – 0,95), який залежить від нещільностей, характеру рідини тощо; L_0 — питома продуктивність компресора, м³/с.

Потрібна потужність поршневого компресора складається з потужності, яка витрачається всередині циліндрів на всмоктування, стиск і нагнітання газу, і потужності, яка витрачається на механічні втрати.

Потужність на валу компресора залежить від кута повороту кривошипа і змінюється за синусоїдальним законом. У поршневих компресорів одинарної дії подача здійснюється тільки за умов руху поршня вперед, а у механізмах подвійної дії — при ході поршня в обидва боки.

Середню потужність для компресора подвійної дії визначають за виразом

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P d\varphi = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P_{\text{max}} \sin \varphi d\varphi = \frac{2P_{\text{max}}}{\pi}. \quad (6.6)$$

При роботі поршневого компресора на магістраль з постійним тиском під час кожного ходу поршня долається постійне середнє зусилля незалежно від кутової швидкості, тому двигун працює з постійним моментом, незалежним від кутової швидкості. Потужність P , кВт, визначають за виразом

$$P = \frac{QH}{\eta_k \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3} = \frac{Q(P_2 - P_1)}{\eta_k \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3}, \quad (6.7)$$

де Q — подача компресора, м³/с; H — тиск, який розвиває компресор, Па; P_1 — початковий тиск газу, Па; P_2 — кінцевий тиск стисненого газу, Па; η_k — ККД компресора; $\eta_{\text{п}}$ — ККД передачі від двигуна до компресора.

Режим роботи компресора може бути тривалим і повторно-короткочасним з великою кількістю вмикань за годину залежно від обраної схеми та устаткування для керування роботою установки й двигуна.

З урахуванням режиму роботи після підрахунків вибирають електродвигуни найближчої більшої потужності.

Електропривід в установках пастеризації молока. Основні режими пастеризації (теплової обробки молока) визначаються технологією його обробки. За умов дотримання технології зберігаються поживні властивості молока без зміни його якості. Недотримання за часом викликає збереження мікрофлори в молоці, перетримання веде до втрати вітамінної цінності молока, карамелізації молочного цукру, змін у білковому складі.

У сучасних пастеризаційних установках електропривід використовується для привода молочних і водяних насосів, молокоочисників, які розглянуто у попередніх розділах.

Потрібна потужність P , кВт, на обертання мішалки складається з потужності на подолання опору обертання P_c та потужності на надання кінетичної енергії рідинам P_k , які видаляються з пастеризатора, і дорівнює:

$$P = P_c + P_k = \frac{\epsilon \rho v^3}{8 \eta_{\Pi}} + \frac{m v^2}{g^2} = \frac{2,45 \cdot 10^{-5} \rho S v^3}{\eta_{\Pi}}, \quad (6.8)$$

де v — швидкість рідини на виході, м/с; ϵ — коефіцієнт опору (у середньому $\epsilon = 0,2$); ρ — густина рідини, кг/м³; η_{Π} — ККД передачі; S — поверхня тертя, м²; m — маса рідини, кг.

Параметри привода мішалки у молочному танку визначають так, як і для пастеризатора.

Для привода хитної трубчастої мішалки у вершководривальних ваннах потрібна потужність P , кВт, пропорційна густині рідини, поверхні мішалки, що пронизує рідину, а також швидкості руху мішалки:

$$P = 3,7 d p l k v_{\text{сер}}^3 \cdot 10^{-4}, \quad (6.9)$$

де d — діаметр труби мішалки, м; ρ — густина вершків, кг/м³; l — довжина мішалки, м; k — кількість труб; $v_{\text{сер}}$ — середня швидкість середньої труби, м/с.

Режим роботи пастеризаційних установок тривалий, тому й електродвигуни працюють у тривалому режимі. Проте за наявності у технологічній лінії молокоочисних сепараторних барабанів безперервність роботи установки лімітується об'ємом грязьового простору сепаратора барабана і становить 2,5 – 3 год залежно від забрудненості молока механічними домішками.

Електропривід танка-охолодника молока ТОМ-2А. Танк-охолодник молока ТОМ-2А призначений для збирання, охолодження і зберігання молока на фермі, де розміщено до 400

корів. Він складається з молочної ванни 9 (рис. 6.6) з мішалкою 8, фреонового компресора 1, конденсатора 2, ресивера 3, фільтра-осушника 4, теплообмінника 5, випарника 6, водяного насоса 7, акумулятора холоду.

За 3 – 4 год до початку доїння вмикають компресор й здійснюють попереднє охолодження води в акумуляторі холоду та наморожування льоду на панелях випарника. Це відбувається внаслідок руху фреону по замкненому контуру. Пари фреону, які відсмоктуються з випарника 6, компресором 1 стискаються, нагріваються й нагнітаються у конденсатор 2. У ньому фреон охолоджується повітряним потоком, який утворюється за допомогою вентилятора, віддає тепло, стає рідким й зливається до ресивера 3. Під тиском він надходить до фільтра-осушника 4, очищується від парів масла, охолоджується зустрічним потоком парів фреону у теплообміннику 5 і крізь отвір у терморегулювальному вентилі вприскується у внутрішню порожнину пластин випарника 6. Опинившись у розрідженому просторі, фреон кипить (переходить з рідкої у газоподібну фазу) зі споживанням теплоти.

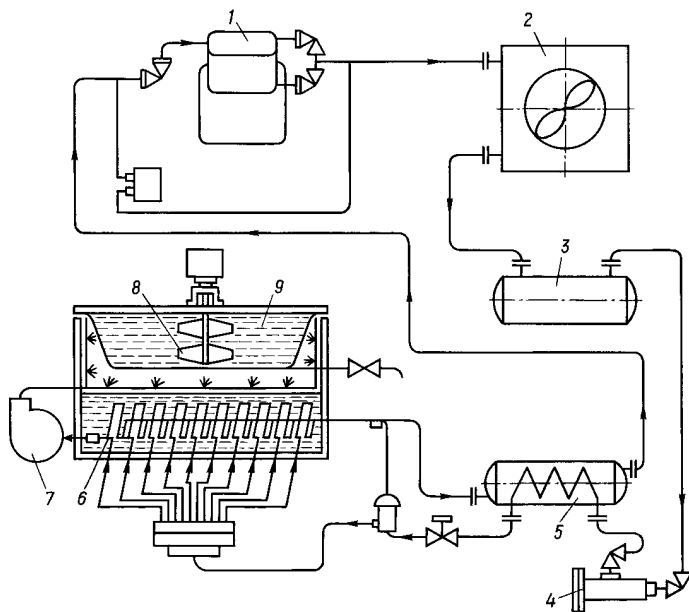


Рис. 6.6. Технологічна схема танка-охолодника молока ТОМ-2:

1 — компресор; 2 — конденсатор; 3 — ресивер; 4 — фільтр-осушник; 5 — теплообмінник; 6 — випарник; 7 — водяний насос; 8 — мішалка; 9 — молочна ванна

При цьому пластини випарника охолоджуються до мінус 8 – 10 °С і на них наморозується вода, в яку вони занурені.

Перед початком подавання молока вмикають мішалку 8 і водяний насос 7. Холодна вода омиває днище молочної ванни та охолоджує молоко, що надходить до неї.

Принципальну електричну схему керування танком-охолодником молока ТОМ-2А наведено на рис. 6.7.

При вмиканні автоматичного вимикача *QF* напруга живлення подається на головні контакти магнітних пускачів *КМ1* – *КМ4* та на коло керування, при цьому загоряються лампи *HL1*, *HL2*. Схема передбачає три режими роботи: ручний, автоматичний, миття.

У положенні перемикача *SA* “Ручний” керування електроприводами здійснюється тумблерами *S1*, *S2*, *S3*, *S4* у колах відповідних магнітних пускачів. Вмиканням тумблера *S1* у ручному режимі здійснюється початкове наморозування льоду на панелях випарника.

У положенні перемикача *SA* “Автоматичний” керування технологічним циклом реалізується за допомогою блока логічного керування *E* залежно від стану контакту датчика температури *SK2*. Блок *E* призначений для вироблення тимчасових сигналів необхідної тривалості, забезпечення технологічного алгоритму та організації вихідних сигналів у вигляді “сухих” контактів герконових реле *K2* і *K3*. Як датчик температури використовується термоконтакт *SK2*, контакт якого замкнений ртутним стовпчиком при температурі + 4 °С та вище. Логічний сигнал про необхідність вмикання системи охолодження, надходячи до блока *E*, викликає спрацювання вихідних реле *K2* і *K3*. Замикаючий контакт реле *K2*, який увімкнено в коло котушки магнітного пускача *КМ1*, забезпечує роботу мішалки, а контакт *K3* вмикає пускач *КМ2* і подає команду на ввімкнення насоса охолодження.

Надалі алгоритм керування передбачає таке функціонування схеми керування:

- за умов досягнення в процесі охолодження молока температури, нижчої за + 4 °С, контакт *SK2* розмикається, вихідне реле *K3* вимикається і відповідно розмикає свій контакт у колі котушки пускача *КМ2*, що викликає вимикання насоса охолодження;

- мішалка після вимикання системи охолодження працюватиме, а після закінчення часу 3 ± 1 хв блок *E* виробить команду вимикання вихідного реле *K2*, контакт якого вимкне пускач мішалки *КМ1*;

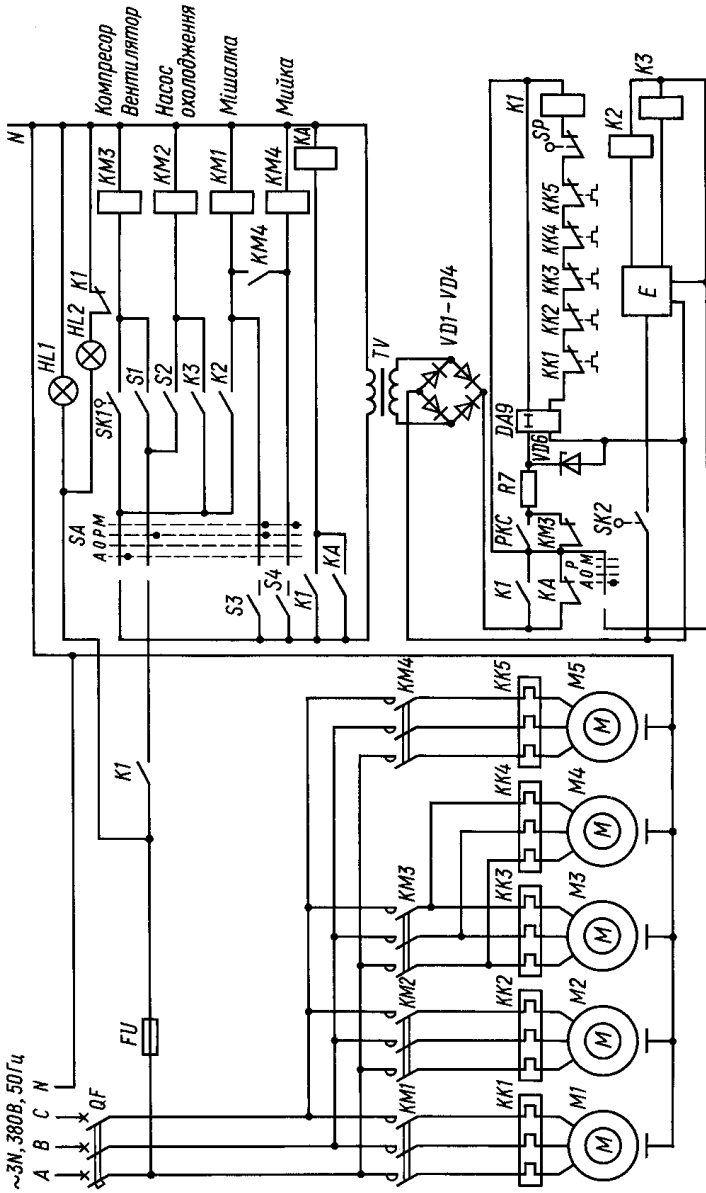


Рис. 6.7. Принципіальна електрична схема керування танком-охолодником ТОМ-2А

6.2. Технічна характеристика апаратів захисту

Тип ящика керування	Електро-двигун, P_n , кВт	Автоматичний вимикач			Теплове реле		
		Тип	I_n , А	$I_{н,уст}$, А	Тип	Позначення	Діапазон регулювання струму, А
ЯОА540-3474ВМУХЛЗ.1	0,12 1,5 5,5 0,75 1,1	АЕ2043М	63	25	РТЛ1004 РТЛ1008 РТЛ1016 РТЛ1007 РТЛ1008	КК1 КК2 КК3 КК4 КК5	0,38 – 0,65 2,4 – 4,0 9,5 – 14 1,5 – 2,6 2,4 – 4,0

- у процесі зберігання охолодженого молока блок *E* вмикає мішалку на 3 хв через кожні 30 хв;

- через зменшення кількості льоду на панелях випарника, який витрачається на охолодження молока, температура вихідних парів хладону з випарника підвищується, контакти температурного реле *SK1* у колі магнітного пускача *КМЗ* замикаються і вмикається привід компресора і вентилятора;

- для контролю системи мащення компресора передбачене реле РКС. При кожному запуску компресора контакт реле РКС повинен замкнутися протягом 20 с, що контролюється елементом ДА9 (*I-312*), який у разі успішного функціонування системи замикання контакту РКС не дозволить вимкнутися проміжному реле *K1*. У випадку, коли контакт РКС за 20 с від початку запуску компресора не замкнеться, електромагнітне реле в елементі ДА9 знеструмиться, контакт його розімкнеться, вимикаючим реле *K1*, замикаючі контакти *K1* розмикаючись вимкнуть ланцюг живлення, що забезпечить аварійне вимкнення устаткування ТОМ-2А;

- за умов неприпустимого підвищення тиску, який контролюється датчиком реле тиску *SP*, та спрацюванні теплових реле *КК1 – КК4* при можливих перевантаженнях електродвигунів *М1 – М5* їх розмикаючі контакти знеструмлюють коло живлення реле *K1* і відбувається аварійне вимкнення устаткування ТОМ-2А, загоряється сигнальна лампа *HL2* “Аварія”. Деблокування сигналу “Аварія” відбувається шляхом вимикання ввідного автоматичного вимикача *QF* та його повторного вмикання;

- технологічна операція “Миття” здійснюється у відповідному положенні перемикача *SA*. У цьому режимі передбачається керування електроприводом насоса мийки та електроприводом мішалки. Вмикання мішалки та насоса здійснюється за допомогою тумблера *S4*;

• за умов підвищення температури молока контакти *SK2* замикаються і робота схеми повторюється.

Захист електроприводів та електроустаткування ящика керування від струмів короткого замикання забезпечується автоматичними вимикачами.

Типи та електричні параметри апаратів захисту для ТОМ-2А наведені у табл. 6.2.

7. ЕЛЕКТРОПРИВІД РУЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

7.1. ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Ручна електрична машина (РЕМ) це така машина, в якій головний робочий рух виконується від електричного двигуна або електромагніта, а допоміжний рух та керування машиною — вручну.

У сільському господарстві РЕМ достатньо широко застосовуються для стрижки овець, а також для механізації монтажних, ремонтних та інших слюсарних робіт у ремонтних та деревообробних майстернях. Застосування цих машин значно підвищує продуктивність праці, скорочує частку робіт, які вимагають значних фізичних зусиль від працівника.

Промисловість випускає більше 100 типів РЕМ, серед яких є свердлильні машини, електричні дискові пилки, шліфувальні машини, електроножиці, електрорубанки, електролобзики, гайковерти, універсальні машини зі змінними насадками та інші.

Оскільки РЕМ працюють у безпосередньому контакті з людиною, до них ставлять такі основні ергономічні вимоги: невелика маса, безпека в роботі, зручність в експлуатації, нормовані величини шуму та вібрації, економічність.

Будь-яка РЕМ складається з електродвигуна або електромагніта, передавального пристрою, робочого інструменту та регульовальних пристроїв, які дають напрямок та глибину свердління, різання, заточування тощо. Є також додаткові складові частини — корпус або рама, підшипники, вимикачі, штепсельні з'єднання, шнури або кабелі.

Маса РЕМ на 70 – 80 % визначається масою електродвигунного пристрою, тому для їх привода застосовують високошвидкісні двигуни, якнайменші за масою. З другого боку, підвищення частоти обертання двигуна для РЕМ з невеликою швидкістю руху робочого органу зумовлює необхідність

редукторних передач, які ускладнюють машину і тим самим збільшують масу РЕМ. Тому при конструюванні РЕМ знаходять оптимальний варіант співвідношення маси двигуна ($m_{\text{ДВ}}$) та маси редуктора ($m_{\text{р}}$) для даної швидкості обертання робочого органа n (рис. 7.1). Найменшій загальній масі $m_{\text{р}} + m_{\text{ДВ}}$ відповідає оптимальна частота обертання електродвигуна.

За робочою напругою і ступенем безпеки згідно з ГОСТ 12.2.013–75 РЕМ виготовляють трьох класів:

- клас I — з номінальною напругою вище 42 В і основною ізоляцією деталей, що перебувають під напругою, та штепсельною вилкою із заземлюючим контактом;
- клас II — з номінальною напругою вище 42 В і в яких всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію без пристрою для заземлення;
- клас III — з номінальною напругою до 42 В включно, що живляться від автономних джерел струму або загальної мережі через ізолюючий трансформатор чи перетворювач, напруга холостого ходу якого не перевищує 50 В, а вторинне електричне коло не з'єднане з землею.

Ручні електричні машини розраховані на номінальні напруги 36, 42, 220, 380 В змінного струму та частоти 50, 200, 400 Гц.

Для підвищення безпеки роботи з РЕМ класу I та запобігання ураженню електричним струмом у виробничих умовах останні приєднують до електричної мережі через захисновимикальні пристрої. Схему одного з цих пристроїв ІЕ9814 наведено на рис. 7.2. Датчиком струму витікання є трансформатор T , первинна обмотка якого увімкнена послідовно в коло захисного нульового проводу. Пристрій підключається до електричної мережі і ручної машини через штепсельні з'єднання $X1$ і $X2$. Вмикають пристрій натисканням на кнопку $SB2$. При цьому через випрямляч UZ подається напруга на обмотку $K1.2$ герконового реле $K1$, замикаючий контакт якого шунтує кнопку $SB2$. Для вмикання двигуна ручної машини M натискають на

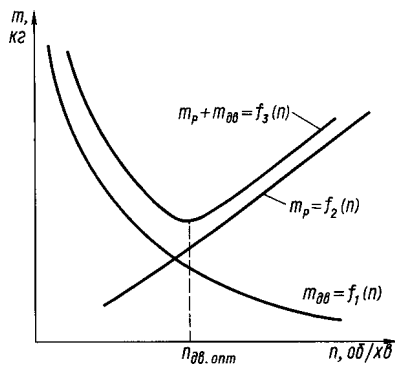


Рис. 7.1. Залежність маси електродвигуна та редуктора РЕМ від частоти обертання

вмонтований у рукоятку машини вимикач SA2, через який подається напруга на обмотку герконового реле K2. Контакт реле K2 замикає коло котушки магнітного пускача КМ. Головні контакти останнього вмикають двигун М у мережу.

При пробі ізоляції ручної машини на корпус у нульовому проводі з'являється струм, який індукуює е. р. с. у вторинній обмотці датчика трансформатора Т. Під дією цієї е. р. с. відкривається транзистор VT і тиристор VS. Струм, що проходить через обмотку K1.1 герконового реле K1, розмагнічує його, контакт K1 розмикається і знеструмлює котушку магнітного пускача КМ. Останній вмикає ручну машину з мережі. Одночасне гасне лампа HL, що сигналізує про вимкнення пристрою. Тривалість спрацювання захисту 0,05 с. Величина струму витoku, при якому спрацьовує захист, не повинна перевищувати 10 мА і регулюється резистором R7. Для перевірки робоздатності пристрою натискають на кноп-

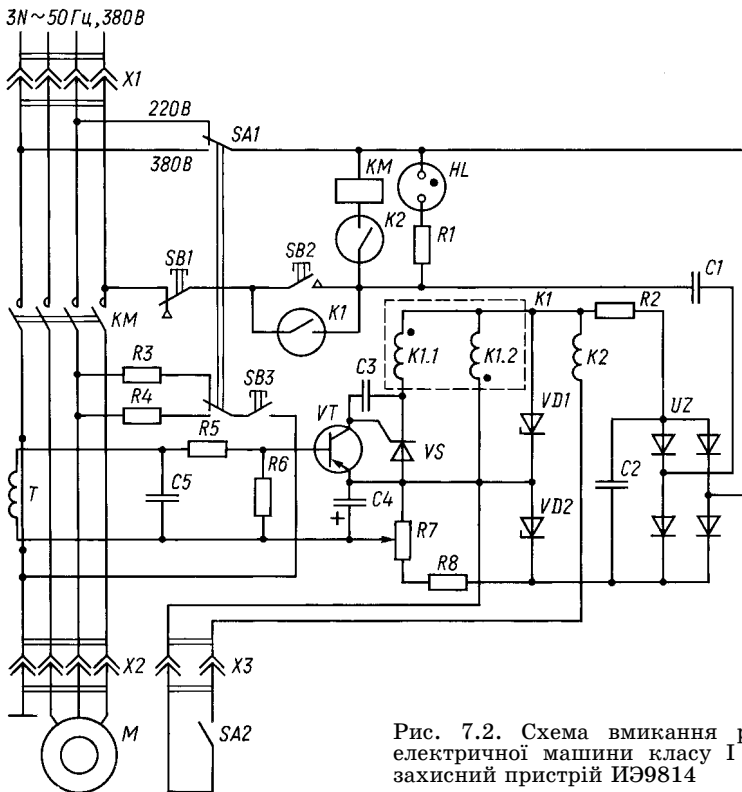


Рис. 7.2. Схема вмикання ручної електричної машини класу I через захисний пристрій ІЕ9814

ку SB3, створюючи штучне замикання на корпус. Вимикають пристрій кнопкою SB1. Залежно від величини напруги мережі перемикач SA1 встановлюють у положення “220 В” або “380 В”. Згідно з діючою класифікацією умовне позначення РЕМ складається з таких позицій: ІЭ — електричний привід; перша цифра за буквами означає номер групи (1 — свердлильні; 2 — шліфувальні та полірувальні; 3 — різнарізні; 4 — ударні та ударно-обертальні; 5 — фрезерні; пилки дискові; 9 — перетворювачі, захисні пристрої); друга цифра — номер підгрупи (0 — прямі; 1 — кутові; 2 – 3 — торцеві); додатковий індекс Э означає особливості машини, в деяких випадках — електронне регулювання швидкості.

7.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПРИВОДА РЕМ

Для привода РЕМ використовують спеціальні електродвигуни уніфікованої серії, які повинні відповідати таким вимогам: достатньо жорстка механічна характеристика, велика перевантажувальна здатність, механічна міцність, невелика маса.

Ці двигуни поділяють на три основні серії:

а) три- та однофазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором промислової частоти 50 Гц (АН); напругою 36, 42, 220 та 380 В; потужністю 120, 180, 270, 400, 600, 800 та 1000 Вт;

б) трифазні асинхронні з короткозамкненим ротором частотою 200 Гц (АП); напругою 36, 42 та 220 В; потужністю 30, 50, 80, 120, 180, 270, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2200 Вт;

в) універсальні колекторні промислової частоти (КН) напругою 220 В; частотою 50 Гц; потужністю 18, 30, 50, 80, 100, 180, 270, 400, 800, 1000, 1200 Вт.

Однофазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором залежно від типу пускового пристрою поділяють на: АЕ — з пусковою обмоткою (рис. 7.3), АУ — з пусковим конденсатором Сп, АТ — робочим конденсатором Ср, АУТ — пусковим та робочим конденсаторами, з електронним регулюванням частоти обертання та реверсування (РР). Механічні характеристики цих двигунів наведені на рис. 7.3, б. Перевагою їх є простота і надійність конструкції, невелика вага.

Універсальні колекторні електродвигуни серії КН (рис. 7.3, а) можуть працювати як на змінному, так і на постійному струмі, але в основному їх використовують з живлен-

ням від мережі змінного струму частотою 50 Гц. Двигуни мають механічну характеристику, яка забезпечує велику переважувальну здатність при низьких частотах обертання, тому їх застосовують у РЕМ, де вимагаються великі моменти, а також пуск при повному навантаженні (наприклад, електросвердла, електроножиці тощо).

Недоліком колекторних двигунів є складність конструкції, підвищена витрата міді на їх виготовлення, підвищені вимоги до обслуговування, особливо при роботі в приміщеннях з агресивним середовищем.

Маса електродвигуна при однаковій потужності на валу P_2 із збільшенням частоти обертання $n_{\text{дв}}$, об/хв, та частоти струму живлення f , Гц, зменшується відповідно до рівняння

$$m = m_0 \sqrt{\frac{50P_2}{fn_{\text{дв}}}}, \quad (7.1)$$

де m_0 — експериментальний коефіцієнт, для дво полюсних трифазних двигунів промислової частоти $m_0 = 11$, для дво полюсних двигунів підвищеної частоти (200 Гц) $m_0 = 12 - 13$.

З цієї точки зору оптимальна частота обертання привідного електродвигуна перебуває в межах 8 – 12 тис. об/хв. Практично використовують двигуни з частотою обертання від 3000 об/хв (асинхронні з короткозамкненим ротором, частотою 50 Гц) до 12 тис. об/хв (асинхронні частотою 200 Гц та колекторні).

Питомі показники маси для універсальних колекторних двигунів дорівнюють 30 – 65 Вт/кг, трифазних асинхронних підвищеної частоти 200 Гц — 50 – 80 Вт/кг, асинхронних частоти 50 Гц — 20 – 40 Вт/кг.

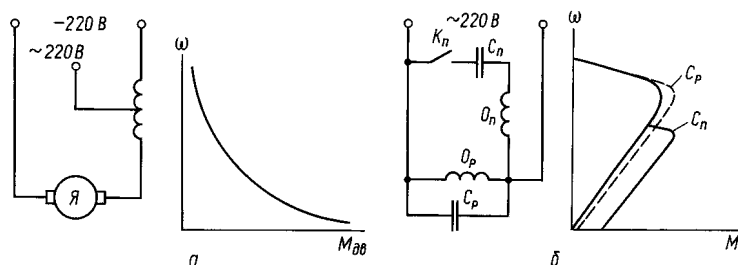


Рис. 7.3. Схеми вмикання електродвигунів РЕМ колекторного (а), однофазного (б) та їх механічні характеристики

За конструктивним виконанням та способом монтажу двигуни РЕМ відносяться до окремої групи (ІМ9000). Як правило, це вбудовані двигуни, що конструктивно з'єднані з редуктором чи робочим органом як одне ціле. Вихідний вал двигуна може бути виконаний із зубчастою нарізкою і є частиною редуктора (електросвердла тощо). В електрорубанку застосовують спеціальну конструкцію електродвигуна, в якому ротор знаходиться зовні статора і на ньому безпосередньо закріплені робочі ножі.

Потужність привідного двигуна для РЕМ вибирають за максимальним зусиллям на робочому органі та частотою обертання чи лінійного руху робочого органу. Оскільки зусилля подачі робочого органу створюються вручну робітником, то вони можуть коливатися в широких межах, тому, як правило, користуються експериментальними даними і потужність двигуна вибирають зі значним запасом. Так, потужність двигуна для свердлильних електричних машин визначають за потужністю на свердлі P_{CB} , кВт:

$$P_{\text{CB}} = \frac{\pi n}{30} \frac{M_{\text{CB}}}{1000}, \quad (7.2)$$

де n — частота обертання свердла, об/хв; M_{CB} — крутний момент на свердлі, Н · м.

M_{CB} визначають за формулою

$$M_{\text{CB}} = \frac{cD^x S^y}{102}, \quad (7.3)$$

де D — діаметр свердла, мм; S — подача на один оберт свердла, мм; c , x , y — коефіцієнти, які визначаються експериментально і залежать від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу (для чавуну $c = 11,6$; $x = 2,0$; $y = 0,6$; для вуглецевої сталі середньої міцності $c = 44$; $x = 1,8$; $y = 0,8$).

Потужність на валу двигуна складається з P_{CB} та потужності холостого ходу машини (20 – 30 % від P_{CB}).

7.3. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ РЕМ

Ручні електричні машини в польових умовах живляться від пересувних електростанцій невеликої потужності, а за наявності електричної мережі 380/220 В безпосередньо від неї або через знижувальні трансформатори чи перетворювачі частоти.

Знижувальні трансформатори призначені для перетворення трифазної напруги змінного струму 660, 380, 220 В у трифазну напругу 12, 24, 36, 42, 127, 220 та 380 В.

Для живлення РЕМ випускають сухі трансформатори типу ТСЗІ потужністю 0,63; 1,0; 1,6; 2,5 та 4 кВА з різними схемами з'єднання первинних та вторинних обмоток. Для перемикання обмоток трансформатора із “зірки” на “трикутник” і навпаки на клемній дошці є спеціальні перемички. Корпус трансформатора заземлюється приєднанням до нього нульового проводу мережі 220/380 В.

Машинний перетворювач частоти типу ІЕ-9401 призначений для перетворення змінного трифазного струму частотою 50 Гц при напрузі 220 або 380 В у змінний трифазний струм підвищеної частоти 200 Гц при напрузі 36 В.

Перетворювач частоти типу ІЕ-9401 (рис. 7.4) складається з двополусного асинхронного двигуна *М* з короткозамкненим ротором і шестиполусного асинхронного генератора *Г* з фазним ротором. Ротори двигуна і генератора знаходяться на одному валу і обертаються з однаковою частотою. На валу закріплені три ізольованих одне від одного кільця, до яких приєднані виводи обмоток ротора генератора. На кільця генератора через щітки і на обмотки статора електродвигуна подається напруга мережі 220 або 380 В. Напруга 36 В частотою 200 Гц знімається з обмотки статора генератора.

Принцип роботи перетворювача такий. У шестиполусному роторі магнітне поле обертається з частотою 1000 об/хв навколо ротора. У свою чергу ротор генератора обертається в напрямку обертання магнітного поля з частотою близько 3000 об/хв. Тому магнітні силові лінії перетинають витки нерухомої обмотки статора генератора з частотою обертання близько 4000 об/хв. У цьому випадку в шестиполусних обмотках статора виникає напруга змінного струму з частотою близько 200 Гц.

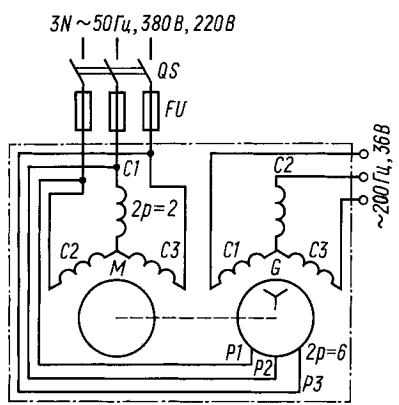


Рис. 7.4. Електрична схема перетворювача частоти ІЕ-9401

Синхронно-реактивний перетворювач частоти ІЕ-9403 призначений для перетворення трифазного змін-

ного струму частотою 50 Гц і напругою 220/380 В у змінний трифазний струм частотою 200 Гц і напругою 36 В.

Принцип дії перетворювача ґрунтується на виділенні і використанні вищих гармонік магнітного поля (рис. 7.5).

Перетворювач складається із статора, вертикально розміщеного ротора та підшипникових щитів. У пазах статора розміщені дві трифазні обмотки: одна двополюсна (первинна) під'єднується до мережі і призначена для створення обертового магнітного поля в машині, друга восьмиполюсна (вторинна) призначена для одержання струму високої частоти.

Магнітна система ротора має особливу форму (рис. 7.5, б) і спеціально розраховану величину повітряного зазору, завдяки чому в кривій розподілу магнітної індукції в повітряному зазорі виділяється необхідна четверта гармоніка. Досвід проектування і виготовлення синхронно-реактивних перетворювачів частоти показує, що для виділення четвертої гармоніки поля обриси поверхні магнітних частин ротора можуть бути частинами кола, ексцентричного відносно кола розточки статора. Так, у машині ІЕ-9403 ексцентриситет кола для обрису магнітної частоти ротора становить 2,14 мм.

Для розгону ротора під час пуску в його магнітну частину закладена пускова обмотка у вигляді білячої клітки, виготовленої з алюмінієвих стержнів з короткозамкненими алюмінієвими кільцями. При досягненні ротором підсинхронної частоти обертання вів завдяки реактивному моменту втягується в синхронізм. У робочому режимі ротор обертається синхронно з обертовим магнітним полем, тому підвищена частота змінного струму залишається незмінною.

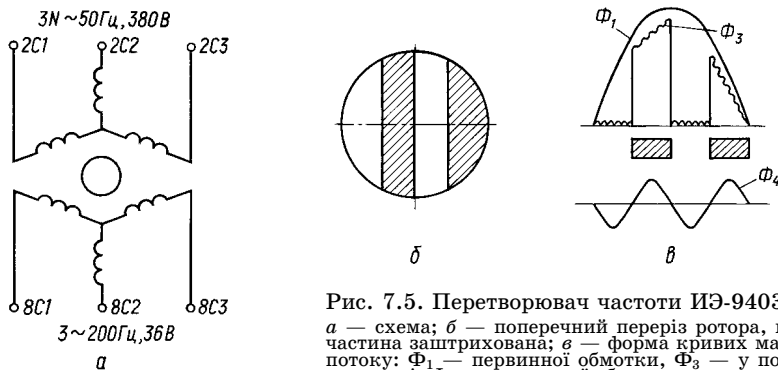


Рис. 7.5. Перетворювач частоти ІЕ-9403:

а — схема; б — поперечний переріз ротора, магнітна частина заштрихована; в — форма кривих магнітного потоку: Φ_1 — первинної обмотки, Φ_3 — у повітряному зазорі, Φ_4 — вторинної обмотки

7.4. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ РЕМ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬ У РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

У тваринництві основною ручною електричною машиною є машинка для стрижки овець. Електропривід цієї машинки має два варіанти: від окремого електродвигуна через гнучкий вал та від вмонтованого в рукоятку електродвигуна. Основна механічна частина машинок, відповідно до типів МСО-77Б та МСУ-200, залишається однаковою за виключенням змін у кінематичній схемі в місці приєднання двигуна.

Стригальна машинка включає такі елементи: різальний апарат, до складу якого входять чотиризубий рухомий ніж та дванадцятизуба гребінка, ексцентрикочий, натискаючий та шарнірний механізми. Рухаючись по тілу тварини гребінка захоплює та притримує вовну, а ніж, виконуючи 2100 подвійних ходів за хвилину уздовж гребінки, зрізає вовну. Захват машинки — 76,8 мм. Ексцентриковий механізм перетворює обертальний рух двигуна в коливальний рух ножа.

Момент опору машинки залежить від двох складових: моменту різання вовни залежно від подачі та моменту тертя ножа по гребінці залежно від зусилля натискання. Перший момент при зміні швидкості подачі від 0,4 до 1 м/с змінюється від 0,8 до 1,5 Н · м, тобто майже прямо пропорційно, а другий при зміні натискання ножа на гребінку від 100 до 200 Н змінюється в чотири рази (від 0,1 до 0,4 Н · м), тобто від цього моменту опору в основному залежить навантаження двигуна.

Експериментально встановлено, що в машинці з гнучким валом приблизно 10 – 12 % потужності двигуна витрачається на тертя гнучкого вала по кожуху, 30 % — на зрізання вовни і близько 60 % — на холостий хід машинки, включаючи тертя ножа по гребінці. Тому зусилля натискання не повинно перевищувати 200 Н.

Для привода стригальних машинок МСО-77Б застосовують трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором типу АД-120 потужністю 120 Вт, синхронною частотою обертання 3000 об/хв, напругою 220/380 В при частоті мережі 50 Гц. Двигун підвішується на кронштейні над робочим столом і через гнучкий вал довжиною 1,6 м передає обертальний рух стригальній машинці. Особливістю конструкції двигуна є те, що він виготовлений без лап зі спеціальним фланцем на одному підшипниковому щиті для кріплення кожуха гнучкого вала. Керують двигуном вручну за допомогою ручного пускача ПНВ-30.

Привід стригальних машинок МСУ-200 здійснюється від спеціальних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, які під'єднуються до електричної мережі через перетворювач частоти з вихідними параметрами 36 В, 200 Гц. Синхронна частота обертання цих двигунів — 12 000 об/хв, номінальна потужність 90 Вт. Застосування високочастотного двигуна зменшує його масу в 3 рази, а габарити по діаметру та довжині — в 2 рази. З урахуванням ліквідації гнучкого вала маса привода машинки зменшується в 4 рази, а двигун вмонтований у ручку стригальної машинки, що збільшує її маневреність і знімає діє реактивного моменту гнучкого вала на руку стригаля. Зниження напруги на двигуні до 36 В підвищує безпеку праці.

За рахунок зменшення втрат потужності в гнучкому валу потужність двигуна також зменшується.

Для стрижки овець в умовах підприємства застосовують стригальні апарати ЭСА-1Д з машинкою МСО-77Б продуктивністю 8 голів на годину. Один такий стригальний апарат розрахований на підприємство з поголів'ям до 500 овець.

При поголів'ї 10 – 12 тис. овець застосовують агрегат ЭСА-12Г, який складається з 12 апаратів ЭСА-1Д, силової та освітлювальної кабельних мереж, переносного заземлюючого пристрою, розподільного щитка та апарата для заточування ножів машинок.

Агрегат одержує живлення від електромережі або пересувної електростанції потужністю 4 – 12 кВт з бензиновим або дизельним двигуном.

Високочастотні стригальні агрегати ЭСА-6/200 та ЭСА-12/300 складаються з 6 або 12 стригальних апаратів з машинками МСУ-200 і двигунами МС-200Н, перетворювача частоти ИЭ-9401, заточувального апарата ТА1, переносної електромережі.

Для спеціалізованих підприємств по вирощуванню овець застосовують стаціонарні стригальні пункти, обладнані, крім того, пресом для вовни, тельфером, транспортерами для вовни, спеціальними поворотними столами.

У майстернях по ремонту сільськогосподарської техніки та деревообробних майстернях набір РЕМ дуже широкий. Передусім, це електричні свердлильні машини (електродрилі), які поділяються на одно-, двошвидкісні та з електронним регулюванням швидкості. Електропривід цих машин здійснюють від двигунів серії АП частотою струму 200 Гц, потужністю 400, 800, 1230 Вт та колекторних серії КН-11 з частотою змінного струму 50 Гц, потужністю від 200 до

600 Вт. Найбільший діаметр свердла залежно від потужності — від 6 мм (машина ІЕ-1025Б) до 23 мм (ІЕ-1305).

Двошвидкісна свердлильна машина (ІЕ-1202, ІЕ-1205) складається з двигуна КН та двошвидкісного редуктора з механізмом перемикання швидкостей. Перемикання швидкостей — механічне, за допомогою двох пар зубчастих коліс, які можуть переміщуватись в осьовому напрямку при дії на них рукоятки перемикача.

Особливістю електропривода одношвидкісного електросвердла з колекторним двигуном є кінематична схема (рис. 7.6, б), в якій вал електродвигуна є однією з шестерень редуктора.

Корпус машини та передавальні пристрої повинні мати достатню міцність, оскільки при свердлінні до них прикладаються значні механічні зусилля в осьовому та радіальному напрямках.

Так, при свердлінні отворів діаметром 6 – 9 мм обертовий момент становить 1 – 2 Н · м, а осьовий (натискання свердла) — 500 – 650 Н; при діаметрі 12 – 14 мм — відповідно 6 – 8 Н · м та 1500 – 2000 Н; при діаметрі 23 мм — 25 – 50 Н · м та 3000 – 4000 Н.

Схема вмикання машини включає штепсельне з'єднання X , курковий двополюсний вимикач QS , фільтр-конденсатор C , обмотку якоря $Я$ та обмотку збудження OZ (рис. 7.6, а).

Електричні свердлильні машини з електродвигунами серії КРРН11-180/220 (рис. 7.7) мають електронне регулювання швидкості та реверсування. Максимальний діаметр свердла від 6 до 13 мм, частота обертання шпинделя регулюється в межах 0 – 600; 0 – 840; 0 – 2300 об/хв, споживана потужність 300 – 400 Вт. Живлення від мережі напругою 220 В, частотою струму 50 Гц.

Електричні ножиці ІЕ-5405; ІЕ-5407 призначені для різання листового металу від 1,25 до 3,5 мм завтовшки, при-

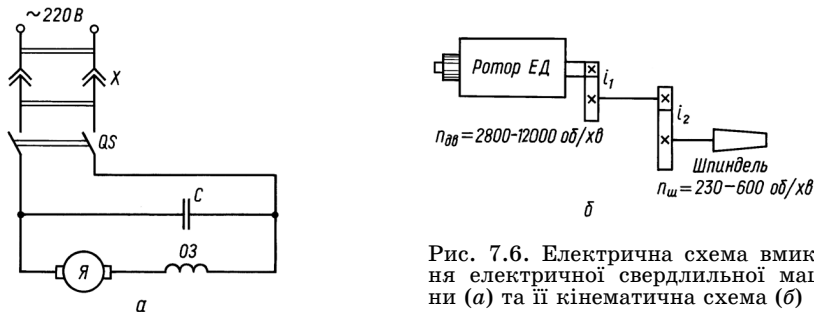


Рис. 7.6. Електрична схема вмикання електричної свердлильної машини (а) та її кінематична схема (б)

водяться в дію від колекторного двигуна напругою 220 В частотою струму 50 Гц. Потужність електродвигуна 270 – 550 Вт, частота подвійних ходів 1400 – 1500 на хвилину.

Кінематична схема складається з зубчастого редуктора, кривошипа та повзуна, які перетворюють обертальний рух двигуна в коливальний рух робочих органів. На повзуні закріплюється насадка з твердосплавного матеріалу, що виконує роль рухомого ножа, протирізальна пластина має таку саму насадку.

Електричні шліфувальні машини ІЕ-2011, ІЕ-2017 призначені для захищення поверхонь конструкцій зі сталі та чавуну, зварних швів, очищення від корозії та шліфування виробів з металу та інших матеріалів. Електродвигун колекторний КН11 потужністю 1050 Вт, частота обертання шпинделя 3600 об/хв. Робочим органом є шліфувальний круг діаметром 150 мм.

У деревообробних майстернях застосовують ручні електричні дискові пилки ІЕ-5106, ІЕ-5107 тощо, які приводяться в дію від колекторних двигунів потужністю 600 – 1150 Вт, напругою 220 В та частотою струму 50 Гц. Діаметр диска — від 160 до 200 мм, частота обертання 2800 – 2900 об/хв. Машина забезпечує глибину пропилу до 65 мм.

Для привода електричних довбачів, які призначені для пробивання в дереві отворів і гнізд прямокутної форми, шпунтових пазів тощо, використовують як асинхронні двигуни ІЕ-5601 потужністю 1070 Вт, що працюють від мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 220 В, так і колекторні двигуни КН потужністю 1150 Вт. Робочим органом є безкінечний ланцюг, на якому закріплені різальні зуби.

У рослинництві в основному застосовують пересувні машини, які можна віднести як до ручних електричних машин, так і до мобільних електрифікованих. Це — електромотика ЕМ 12А та електрофреза ФС-0,7, описані в розділі “Електропривід мобільних машин”.

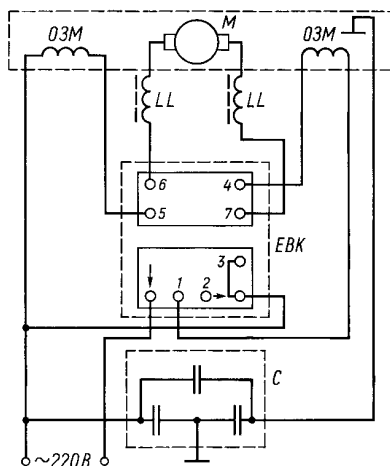


Рис. 7.7. Схема керування електричною свердлильною ручною машиною з тиристорним регулюванням частоти обертання

7.5. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕМ

Правила безпеки при експлуатації РЕМ в умовах виробництва встановлені ГОСТ 12.2.013–75 “Машины ручные электрические. Общие требования безопасности”.

До роботи з ручними машинами допускаються особи, які пройшли виробниче навчання і мають кваліфікаційну групу з техніки безпеки. Дозволяється експлуатація тільки тих машин, які задовольняють вимогам ГОСТ 12.2.013–75.

При кожній видачі машини в роботу виконують перевірку комплектності, надійності закріплення деталей, зовнішній огляд ізоляційних деталей корпусу і кабелю, перевірку роботи вимикача та машини на холостому ходу.

У машин класу I перевіряють також справність кола заземлення.

При роботі з машиною класу I слід застосовувати індивідуальні захисні засоби (діелектричні рукавиці, калоші, килими) за винятком таких випадків: машина, і тільки одна, живиться від розподільного трансформатора, автономної установки двигун-генератор або перетворювача частоти з окремими обмотками, через захисно-вимикальний пристрій.

Машинами класів II і III дозволяється виконання робіт без застосування індивідуальних захисних засобів.

У побутових умовах дозволяється експлуатувати тільки машини класів II і III відповідно до призначення, вказаного у паспорті машини.

Для машин класів I та II різниця потенціалів між землею та будь-яким проводом електричної мережі, до якої приєднується РЕМ, не повинна бути більшою за 250 В. Різниця потенціалів між землею і будь-якою фазою мережі живлення машини III класу не повинна перевищувати 24 В.

Конструкція штепсельного з'єднання машини III класу не повинна допускати суміщення із з'єднаннями, призначеними для машин I та II класів. Конструкція з'єднання на 200 та 400 Гц не повинна допускати суміщення із штепсельними з'єднаннями на 50 Гц.

Опір ізоляції нових машин (після випуску з заводу) відносно корпусу та між обмотками не повинен бути меншим за 100 МОм у холодному стані та 2 МОм при робочій температурі двигуна.

8. КОМПЛЕКТИ МАШИН ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ ЗЕРНА, ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЯ

8.1. ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗЕРНООЧИСНИХ АГРЕГАТІВ

Після обмолоту зерна комбайнами весь урожай піддають очищенню та сушінню на стаціонарних пунктах. Свіжо-зібране зерно має засміченість 15 – 18 %, а вологість змінюється у широкому діапазоні залежно від зони та погодних умов.

Вміст домішок у продовольчому зерні пшениці не повинен перевищувати 5 %, для інших культур — 8 %, домішки зерен інших культур — не більше 12 – 15 %. Для насінневого зерна вимоги до чистоти ще вищі.

Тепер машини для післяжнивної обробки зерна та підготовки насіння випускають комплектами у вигляді зерноочисних агрегатів для сухих зон або зерноочисно-сушилних комплексів для вологих зон.

Основна характеристика агрегатів і комплексів для обробки зерна та насіння зернових, зернобобових та круп'яних культур наведена у табл. 8.1.

8.1. Технічна характеристика агрегатів і комплексів для обробки зерна

Показник	ЗАВ-20	ЗАВ-25	ЗАВ-40	ЗАВ-50	КЗС-20Ш	КЗС-20Б	КЗС-25Ш	КЗС-25Б	КЗС-50
Продуктивність, т/год	20	25	40	50	20	20	25	25	50
Встановлена потужність, кВт	30,9	78,5	47,3	153,4	130,1	100,2	185,5	170,9	326,3
Кількість електродвигунів, шт.	9	18	16	35	26	26	32	34	52

У таблиці наведені широко розповсюджені агрегати і комплекси ЗАВ-20, ЗАВ-40, КЗС-20Ш, КЗС-20Б, ЗАВ-25, ЗАВ-50, КЗС-25Ш, КЗС-25Б, КЗС-50.

Агрегати ЗАВ-25 і ЗАВ-50 відрізняються від агрегатів ЗАВ-20 і ЗАВ-40 тим, що вони додатково комплектуються машинами попереднього очищення продуктивністю 50 т/год і бункерами тимчасового зберігання по 100 т. Крім того, аг-

регати та комплекси оснащені новими і модернізованими зерноочисними машинами більшої продуктивності.

Зерноочисні агрегати ЗАВ використовують у тих зонах України, де вологість зерна в період жнив не перевищує 16 % і немає необхідності у його штучному сушінні. Агрегат ЗАВ-25 є базовою моделлю і складається з відділень приймання, тимчасового зберігання й попереднього очищення зерна продуктивністю 50 т/год та основного відділення продуктивністю 26 т/год. До комплексів КЗС-25Ш і КЗС-25Б додатково входять сушильні відділення відповідно з шахтною сушаркою СЗШ-16А і двома барабаними сушарками СЗСБ-8А.

Технологічний процес ґрунтується на принципі потокової обробки зерна. Устаткування агрегату створює єдину за продуктивністю потокову технологічну лінію з приймання та очищення зерна, яка забезпечує доведення його якості до базисних кондицій.

Усі операції з приймання вороху, обробки та транспортування зерна, відпуску готової продукції та відходів механізовані та електрифіковані.

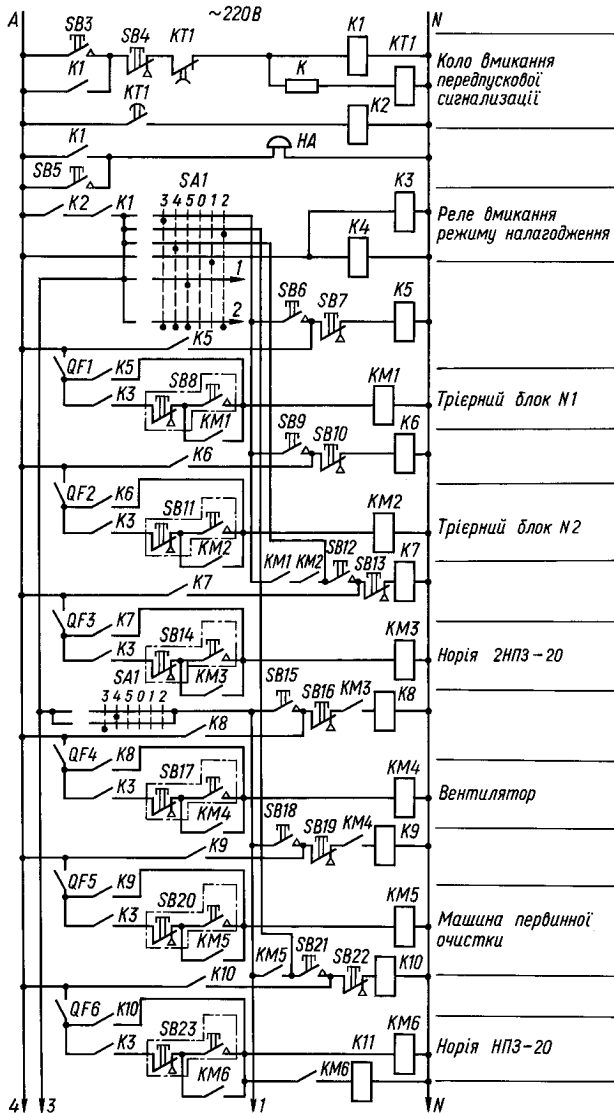
Для зерноочисних машин характерним є сезонність у роботі і невеликий обсяг використання протягом року. Їх механічні характеристики мають вентиляторний вигляд, момент статичних опорів при зрушенні малий, тому перевірка привода за умов пуску не потрібна. Режим роботи електродвигуна тривалий, практично з постійним навантаженням. Електроприводи зерноочисних машин експлуатуються в запилених приміщеннях або на відкритому повітрі.

8.2. СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ МАШИНАМИ ТА МЕХАНІЗМАМИ АГРЕГАТУ ЗАВ-25

Ручне керування потоковими лініями обробки зерна потребує великих затрат робочого часу, призводить до помилок при виборі маршрутів і збільшення простоїв потокової лінії. Основними шляхами зниження простоїв є централізація керування машинами, транспортуючими та допоміжними механізмами, введення протизавальних блокувань.

Схема керування забезпечує: централізоване керування електродвигунами машин та механізмів; дистанційне керування шиберами в бункерах тимчасового зберігання; сигналізацію положення засувки перекидних клапанів, рівня зерна та відходів у бункерах; централізований контроль температури зерна в бункерах тимчасового зберігання.

Залежно від конкретних умов схема автоматичного керування дозволяє вибрати 8 незалежних режимів роботи. При цьому необхідні протизавальні блокування забезпечуються відповідним положенням перемикачів SA1 і SA2 та розподільників 19 – 24.



Черговість вмикання основного обладнання для відповідних технологічних схем, порядок вмикання машин і механізмів, положення перемикачів наведено у табл. 8.2.

У налагоджувальному режимі перемикач SA1 ставлять у положення "1". При цьому одержують живлення котушки K3

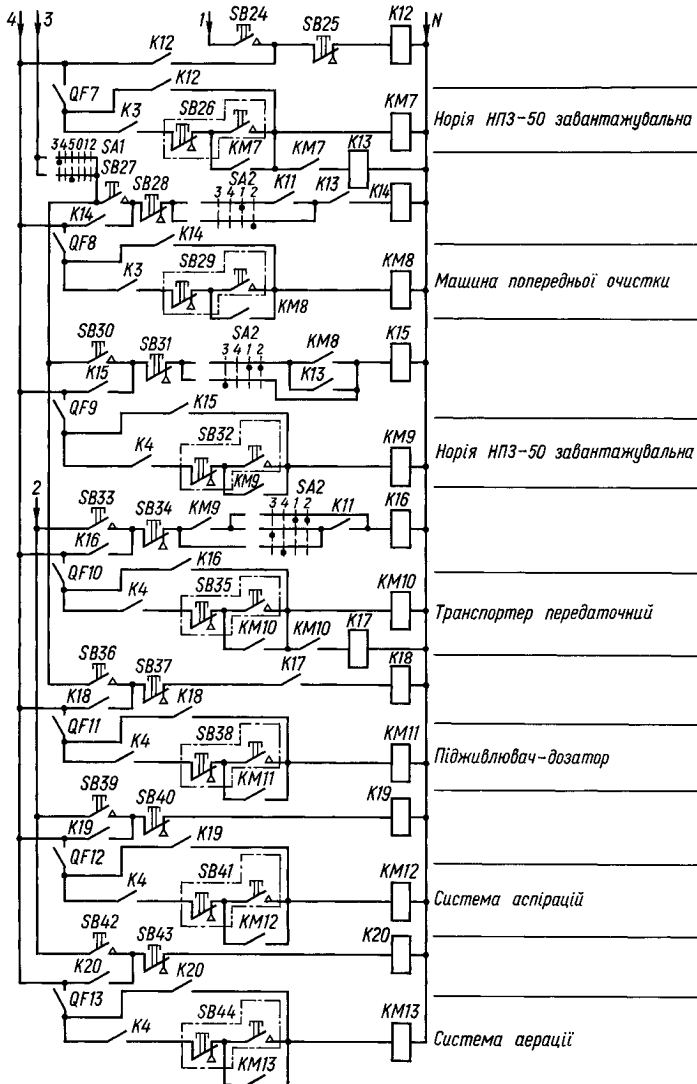


Рис. 8.1. Принципіальна електрична схема керування агрегатом ЗАВ-25

та *K4* реле вмикання режиму налагодження. При цьому всі замикаючі контакти *K3* та *K4* у колах керування пускачами *KM1* – *KM3* замикаються, готуючи їх до вмикання. Автоматичні вимикачі *QF1* – *QF13* у силовому колі електродвигунів повинні бути увімкнені, а їх блокувальні контакти з метою керування котушками пускачів — замкнені. Живлення кіл керування всіх електродвигунів здійснюється змінною напругою 220 В.

Керування електродвигунами всіх машин провадиться незалежно натисканням відповідних кнопок та кнопкових постів за місцем встановлення двигунів *SB8*, *SB11*, *SB14*, *SB17*, *SB20*, *SB23*, *SB26*, *SB29*, *SB32*, *SB35*, *SB38*, *SB41*, *SB44*.

Перед початком роботи агрегату в заблокованому режимі вибирають номер режиму, наприклад “1”, ставлять перемикач *SA1* у положення “3”, а *SA2* — у положення “1” і вмикають передпускову звукову сигналізацію. При натисканні на кнопку *SB3* одержує живлення проміжне реле *K1*, яке своїми замикаючими контактами *K1* вмикає дзвінок *HA* передпускової сигналізації. Одночасно з реле *K1* одержує живлення реле часу *KT1*, яке має дві пари контактів. Одна пара замикаючих контактів з витримкою часу 12 с замикає коло котушки реле *K2*, яке своїми замикаючими контактами готує до вмикання кола керування всіх електродвигунів, інша пара розмикаючих контактів з витримкою часу 180 с вмикає реле *K1*, тобто дзвінок передпускової сигналізації. Витримка часу 180 с вибирається виходячи з можливості вмикання всіх електродвигунів найдовшого маршруту обробки зерна.

При натисканні на кнопку *SB5* одержує живлення проміжне реле *K5*, при цьому одна пара замикаючих контактів шунтує пускову кнопку *SB5* і перемикач режиму роботи *SA1*, інша пара, замикаючись, живить струмом котушку магнітного пускача *KM1*, який вмикає електродвигун привода трієрного блока № 1. При натисканні на кнопку *SB9* аналогічно вмикається електродвигун привода трієрного блока № 2. Коли магнітні пускачі *KM1* та *KM2* ввімкнені, замикаються їх замикаючі контакти, які готують до роботи котушку проміжного реле *K7*. При натисканні на кнопку *SB12* спрацьовує реле *K7* і замикаючими контактами вмикає пускач *KM3* привода електродвигуна норії. Замикаючі контакти *KM3* готують до вмикання котушку реле *K8*. Копкою *SB15* вмикається реле *K8*, замикаючими контактами *K8* живиться струмом котушка магнітного пускача *KM4*, який вмикає

електродвигун привода вентилятора системи аерації. Замикаючі контакти магнітного пускача *КМ4* готують до вмикання котушку реле *К9*. Натисканням кнопки *SB18* одержує живлення котушка реле *К9* і замикаючими контактами живить струмом котушку пускача *КМ5*, який вмикає електродвигун привода машини попереднього очищення. Аналогічно працює схема при вмиканні інших машин обраної технологічної схеми. Контактми реле *К10*, *К12*, *К14*, *К15*, *К16*, *К18*, *К19*, *К20* живляться струмом котушки магнітних пускачів *КМ6*, *КМ7*, *КМ8*, *КМ9*, *КМ10*, *КМ11*, *КМ12*, вмикаючи електродвигуни привода відповідних машин, а замикаючі контакти вказаних вище пускачів у колах котушок реле забезпечують послідовність вмикання машин відповідно до обраної схеми.

При аварійній зупинці однієї з машин, наприклад попереднього очищення зерна, миттєво вимикається завантажувальна норія, передавальний транспортер, підживлювач-дозатор, інші машини працюють до відключення їх оператором. Решта режимів (6) відповідно до обраної технологічної схеми працюють аналогічно.

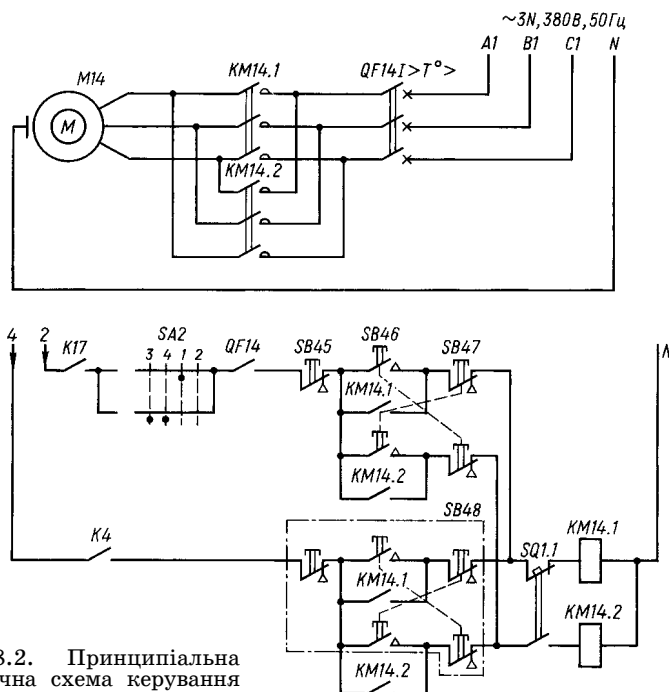


Рис. 8.2. Принципіальна електрична схема керування засувкою

Керування електродвигунами може здійснюватися дистанційно або за місцем. Схема керування приводом однієї засувки наведена на рис. 8.2. Для керування засувками використовують асинхронний трифазний електродвигун.

При налагоджувальному режимі, коли замкнені контакти реле *K4*, керування за місцем здійснюється кнопковим постом *SB48* натисканням відповідних кнопок “Пуск” та “Стоп”. У кінцевих положеннях засувки котушки магнітних пускачів *KM14.1* та *KM14.2* вимикаються контакти кінцевого вимикача *SQ1.1* і електродвигун привода засувок зупиняється. При роботі у заблокованому режимі кола керування котушками магнітних пускачів підключаються через перемикач *SA2* і керування приводом засувок провадиться натисканням відповідних кнопок *SB46* та *SB47*.

Сигналізація положення перехідних клапанів здійснюється за допомогою кінцевих вимикачів. У граничних положеннях своїми контактами вони підключають на мнемосхемах сигнальні лампи.

Датчики рівня, влаштовані у відповідних бункерах, сигналізують про наявність зерна, фуражу, відходів, і на мнемосхемах загоряються відповідні сигнальні лампи.

Контроль температури зерна в бункерах тимчасового зберігання виконують у трьох точках по висоті бункера за допомогою мідних термометрів опору. Термометри приєднують до логометрів, які встановлені в ящику контролю, через перемикачі.

8.3. АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ЗЕРНА

У потокових лініях післяжнивної обробки зерна використовують барабанні та шахтові сушарки.

Промисловість випускає ящики ЯАА5102, ЯАА5103, ЯАА5104, ЯАА5904 для керування механізмами потокових агрегатних установок ТАУ-0,75, ТАУ-1,5 та сушарками СЗПБ-2,5, СКПБ-1,8. Напруга силового кола 380 В, а кіл керування — 220 В змінного струму.

Принципальні електричні схеми пристроїв керування теплогенераторами ТАУ-0,75 та ТАУ-1,5 забезпечують:

- спільну або роздільну роботу вентиляторного і топкового блоків (топковий блок може працювати в складі зерноочисно-сушильних комплексів і сушарок, які мають дуттьові вентилятори відповідної продуктивності);

- автоматизоване керування всіма механізмами, що входять до агрегату;
- індивідуальне незблоковане керування двигунами в режимі налагодження;
- можливість відключення з виносних кнопкових постів топкового та вентиляторного блоків;
- автоматичне програмне запалювання пального;
- автоматичне припинення подавання пального у випадку зриву факела;
- контроль температури теплоносія;
- попередню (за 10 с) сигналізацію про початок розпалювання топки (для ТАУ-1,5 будь-якої з двох топок);
- подавання світлового та звукового сигналів про зрив факела, відхилення температури від норми, зупинку двигуна форсунок або вентилятора;
- можливість підігрівання пального з автоматичним відключенням за умов досягнення необхідної температури;
- блокування відключення основного вентилятора у робочому режимі.

Принципальна електрична схема пристрою керування сушарками СЗПБ-2,5 і СКПБ-1,8 забезпечує ті самі вимоги, що і схеми керування теплогенераторами ТАУ-0,75 і ТАУ-1,5. Схема забезпечує жорстку послідовність вмикання всіх механізмів сушарки в необхідній технологічній послідовності.

Схему розпалювання і контролю полум'я теплогенератора ТАУ-0,75 наведено на рис. 8.3. Схема працює так. Перемикач SA1 встановлюється у положення "Робота". Після вмикання магнітного пускача основного вентилятора (на схемі не показаний) кнопкою SB2 "Пуск" вмикається магнітний пускач KM1 вентилятора топки. Одночасно вмикається електронне реле часу KT1, яке має такі витримки:

- 230 с — забезпечує вмикання світлової сигналізації (лампа HL1) про початок розпалювання топки;
- 240 с — час, протягом якого відбувається продувка топки. Наприкінці циклу продувки реле часу вмикає електромагнітні клапани подавання пального YA та трансформатор високої напруги TV запалювання пального;
- 255 с — час, після якого відбувається вмикання пристрою контролю полум'я (ПКП) та відключення трансформатора запалювання пального TV. Одночасно вмикаються проміжні реле KV2 та KV3, призначені для збільшення кількості контактів пристрою контролю полум'я та елементів пам'яті про роботу топки.

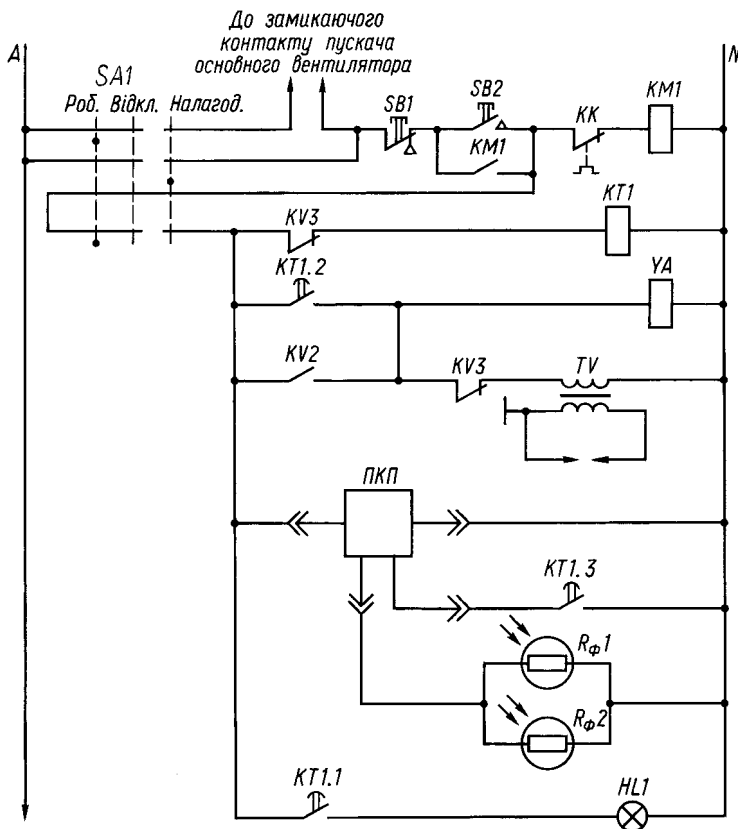


Рис. 8.3. Принципіальна електрична схема розпалювання і контролю полум'я теплогенератора ТАУ-0,75

Після виконання програми цикл розпалювання закінчується, реле часу повертається у вихідне положення. Робота топки контролюється за допомогою фоторезисторів $R_{\phi 1}$ та $R_{\phi 2}$, які реагують на наявність полум'я.

У випадку зриву факела під час горіння або незапалення пального за час, що відводиться на цикл розпалювання, електромагніт клапана подачі пального перекриває паливний трубопровід.

Вентилятор топки та основний вентилятор теплогенератора (і сушарки) продовжують працювати для продувки топки й охолодження камери згоряння сушильного агрегату. При цьому запобігається перегрівання продукту, що висушується.

При необхідності повторного пуску (у разі невдалого розпалювання або зриву факела під час роботи топки) цикл розпалювання топки має бути поновлений. За умов невдалого розпалювання або зриву факела вмикається звукова й світлова сигналізація, сповіщаючи оператора про аварійний режим.

Схема сигналізації про зрив факела та відхилення температури від заданої (рис. 8.4) працює так. Після розпалювання топки і включення до роботи пристрою контролю полум'я (ПКП) вмикаються проміжні реле *KV2* та *KV3*, які призначені для підготовки до роботи кола сигналізації і є елементами пам'яті про включення до роботи пристрою ПКП.

При зриві факела реле *KV2* вимикається, спрацьовує сирена *HA* і загоряється сигнальна лампа *HL2*. Час роботи звукового сигналу визначається установкою реле часу *KT2* і

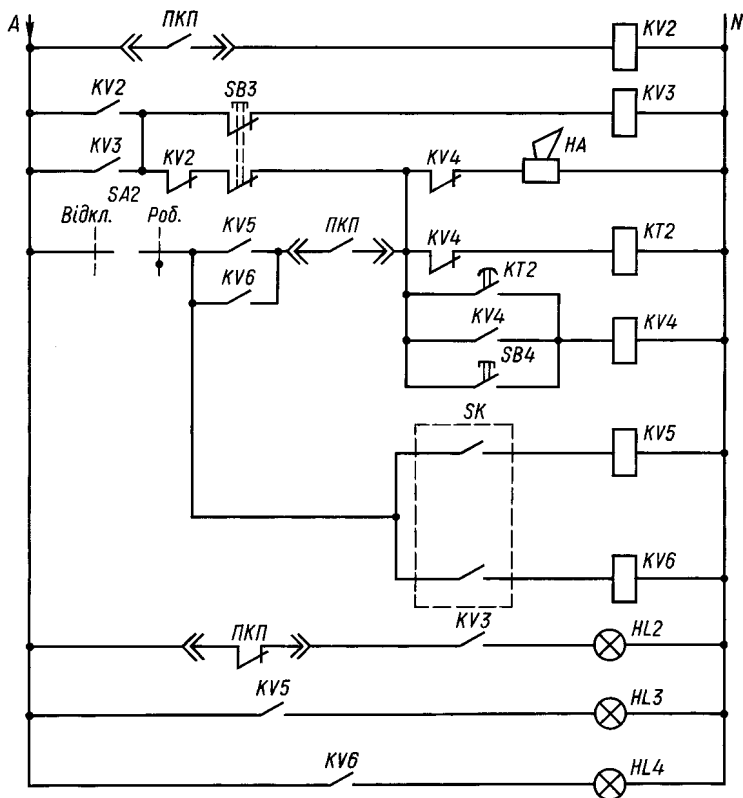


Рис. 8.4. Схема сигналізації про зрив факела та відхилення температури від заданої

не перевищує 1 хв, після чого реле часу вимикається проміжним реле *KV4*.

Повторне розпалювання відбувається за допомогою натискання кнопки *SB3*, при цьому система сигналізації повертається у вихідне положення.

Відхилення температури від заданої також призводить до спрацювання звукової і світлової сигналізацій. Схему сигналізації про відхилення температури від заданої зібрано на двох проміжних реле *KV5* та *KV6*, які керуються електроконтактним термометром *SK*. Включення термометра до роботи здійснюється вимикачем *SA2*. Світлову сигналізацію про відхилення температури зібрано на лампах *HL3* та *HL4*. При необхідності зняття звукового сигналу здійснюється оператором натисканням на кнопку *SB4*. При відновленні заданої температури схема повертається у вихідне положення. Схему керування сигналізацією виконано так, що в разі спрацювання сигналізації при зриві факела в топці схема повертається до вихідного положення за рахунок введення контакту ПКП у коло сигналізації і спрацьовує знову, оскільки зрив факела є більш серйозним порушенням роботи агрегату, ніж відхилення температури сушильного агрегату.

Електричну схему підігріву пального перед початком розпалювання у прохолодну пору року наведено на рис. 8.5. Трубчастий нагрівальний елемент *EK* та температурне реле *SK* типу TP200 розміщуються у поплавковій камері, де знаходиться пальне перед надходженням до форсунки. У колі нагрівального елемента *EK* встановлено діод *VD*, який знімає половину напруги, на яку розрахований нагрівник, що підвищує строк служби елемента і знижує вдвічі його потужність. Це викликано необхідністю встановлення нагрівального елемента у паливній камері обмежених габаритів. Нагрівник керується проміжним реле *KV1*. Схема дає змогу підтримувати необхідну температуру перед початком розпалю-

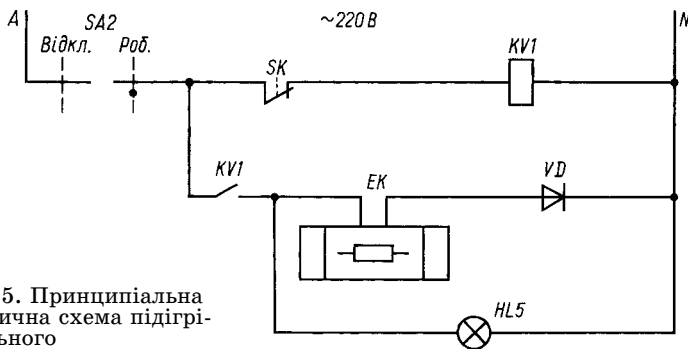


Рис. 8.5. Принципіальна електрична схема підігріву пального

вання топки і забезпечує його стабільність. Сигналізацію про роботу нагрівника виконано на лампі *HL5*. У роботу нагрівник вмикається вимикачем *SA2*.

9. ЕЛЕКТРОПРИВІД МОБІЛЬНИХ МАШИН ТА АГРЕГАТІВ

9.1. СПОСОБИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН

У порівнянні з тепловими двигунами електропривід мобільних машин має ряд суттєвих переваг: значно спрощується кінематична схема агрегатів і автоматизація виробничих процесів, підвищується їх продуктивність, надійність і культура виробництва, практично відсутні шкідливі викиди в атмосферу. Найскладнішою при цьому є проблема живлення.

Електроприводи мобільних машин одержують електроенергію від джерел різними способами: кабельним, тролейним, від акумуляторів, через електричну трансмісію, від паливних елементів або комбіновано, наприклад кабельно-акумуляторним, тролейно-акумуляторним.

Кабельний спосіб найбільш розповсюджений у реалізованих конструкціях електрифікованих машин та агрегатів. Електроприводи одержують енергію від мережі або трансформатора по гнучкому кабелю. Для складання і розмотування кабелю застосовують кабельні барабани, кабельно-поліспастові пристрої, кабель-штори та кабель-лотки. У деяких випадках, наприклад, у машинах для післязбиральної обробки зерна, кабель розстеляють по землі.

Кабельно-барабанный пристрій складається з барабана 4 (рис. 9.1) з кабелем, електрогідропривода 5 з електродвигуном і гідромуфтою, стояка 3, поворотної штанги 2 з напрямними роликками і кабелеукладального механізму 1. Пристрій встановлюється на рамі 6 робочої машини. Електроенергія до машини передається від мережі через кабель, укладений на барабані. Одним кінцем кабель підключається до електричної мережі, другим — до контактних кілець, змонтованих всередині барабана. З контактних кілець напруга через щітки передається до ящика керування машиною. Електрогідропривод забезпечує постійний натяг кабелю при його розмотуванні з барабана та намотуванні на барабан. Місткість барабана — до 200 м кабелю.

Кабельно-поліспастовий пристрій живлення являє собою поліспаст, в якому верхній блок 6 (рис. 9.2) встановлений нерухомо, а нижній блок 3 може рухатися у вертикальному напрямку по напрямних. На валах блоків вільно встановлені шківів, через які перекинута силовий кабель. Для натягу віток при розмотуванні кабелю з пристрою і автоматичного його змотування до нижнього блока на кронштейнах підвішено вантаж 2. Кабель до робочої машини подається через поворотну каретку 8. Довжина розмотування кабелю — 40 – 50 м. Перевагою кабельно-поліспастового пристрою є те, що його можна встановлювати окремо від машини. Застосування принципу поліспаста дає змогу гасити ривки, що передаються на кабель при нерівномірному русі машини.

Кабель-штора — це кабель, підвішений за допомогою кілець до несучого троса, натягнутого між двома опорами. Кільця кріплять до кабелю хомутами з кроком 1500 – 2000 мм. Один кінець кабелю приєднують до електричної мережі,

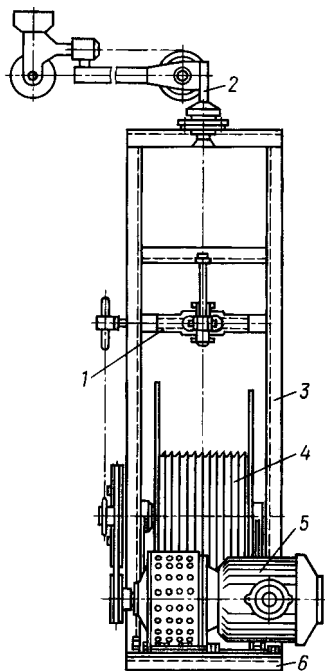


Рис. 9.1. Кабельно-барабанний пристрій:

1 — кабелюкладальний механізм; 2 — поворотна штанга; 3 — стояк; 4 — барабан; 5 — електропривід; 6 — рама

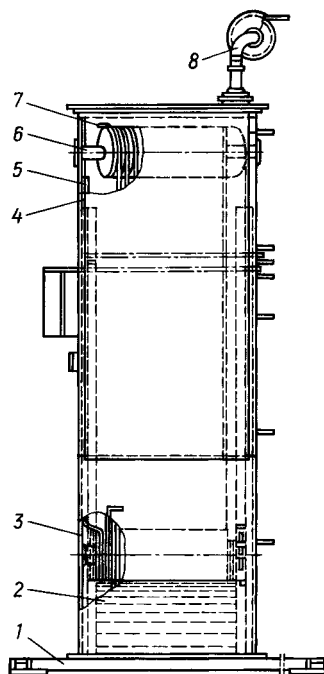


Рис. 9.2. Кабельно-поліспастовий пристрій:

1 — підставка; 2 — вантаж; 3 — нижній блок; 4 — шафа; 5 — кінцевий вимикач; 6 — верхній блок; 7 — силовий кабель; 8 — поворотна каретка

другий — до мобільної машини, що рухається вздовж несучого троса, розтягуючи або збираючи кабель. Водночас машина може в певних межах маневрувати в поперечному напрямку відносно кабель-штори. Кабель-штори застосовують у приміщеннях не більше 100 м завдовжки.

При лотковому живленні кабель вкладається в лотік, по якому він переміщується під час руху машини. Лотік виготовляють з дерева або листової сталі. У машину кабель вводять через поводок, що рухається над лотком разом з машиною.

При тролейному способі енергія до електроприводів подається від неізолюваних проводів через рухомі контакти — щітки, ролики, дуги. Електрифікований агрегат рухається паралельно тролейним проводам.

Акумуляторний спосіб живлення є найкращим з варіантів енергопостачання мобільних агрегатів, оскільки зона дії машини не обмежується довжиною кабелю або лінією живлення. Проте широке використання його стримується відсутністю акумуляторних батарей, які при помірних габаритах і масі мали достатню енергоемність та були дешевими. Економічно вигідними для сільськогосподарських цілей вважають акумулятори з питомою енергоемністю не менше 100 кВт · год на тону загальної маси. Енергоемність же сучасних акумуляторів не досягає 30 кВт · год/т.

На агрегатах з електротрансмісією встановлюють електричний генератор з приводом від теплового двигуна. Електродвигуни, що одержують живлення від генератора, приводять в рух ведучі колеса трактора і робочі органи причіпних машин. Використовують також спрощений варіант: генератор приводиться в рух від вала відбору потужності трактора і дає живлення лише електродвигунам, що приводять в рух робочі органи причіпних машин. При двопотоковій електротрансмісії енергія теплового двигуна передається на ведучі колеса трактора частково електричним шляхом, а частково — механічним. Така система легша за однопотокову і має дещо вищий ККД.

Варіантів комбінованих способів живлення є кілька. Наприклад, у кормороздавача, що рухається по рейках і транспортує корми від кормоцеху до тваринницьких приміщень та роздає корми всередині приміщень, привід ведучих коліс одержує енергію від акумуляторної батареї, а привід механізмів кормороздавання — від мережі змінного струму через тролей, кабель-штору або кабель-барабанный пристрій. При цьому заїжджаючи в приміщення оператор вручну за допо-

могою штепсельного з'єднання підключає тролей, кабель-штору чи кабель-барабан до мережі змінного струму.

Досить перспективним є використання паливних елементів, які перетворюють хімічну енергію палива безпосередньо в електричну. Створений у США зразок електротрактора з двигуном потужністю 16 кВт показує реальні можливості цього способу. Проте впровадження його у промислове виробництво стримується дуже високою вартістю паливних елементів.

Проводяться також роботи по використанню сонячних батарей, але вартість їх також занадто висока.

9.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИХ МАШИН

За способом переміщення електромобільні машини поділяють на три групи.

Машини першої групи доволіно переміщуються в різних напрямках по твердому покриттю або ґрунту в радіусі 20 – 30 м. Спосіб живлення — кабельний, кабельно-барабанний, кабельно-поліспастовий або з розмотуванням кабелю. До них відносять кормовантажувачі з фрезвідбірником, грейфером або ковшем, зерновантажувачі, навантажувачі гною, електрофрези для обробітку ґрунту в теплицях, самопересувні зерноочисні машини та ін.

Для машин другої групи характерне прямолінійне переміщення по колії або твердому покриттю. Способи живлення — кабельний (кабель-штора, лоткова система кабельного живлення) і тролейний. Це — кормовантажувачі, гноєвантажувачі на козловому або мостовому крані, що рухаються по рейках; кормовантажувачі, що працюють всередині приміщення на естакаді або на бокових стінках годівниці; рейкові дозувальники кормів; кормороздавачі, які переміщуються всередині приміщення по дну годівниці або кормовому проїзду; опромінюючі установки, що рухаються по тросу.

Третя група машин характеризується складним переміщенням на прямолінійних або криволінійних ділянках по колії чи твердому покриттю. Живлення такі машини одержують від двопровідної тролейної системи, кабель-барабанного пристрою, акумуляторної батареї, через електротрансмісію або змішаним способом — тролейно-акумуляторним чи кабельно-акумуляторним. До них відносять кормороздавачі, що рухаються по рейках по території ферми і всередині приміщень; кормороздавачі, що рухаються по твердому покриттю по території ферми і всередині приміщень; електрокари, електронавантажувачі з акумуляторним живленням; електротрактори з електротрансмісією.

9.3. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНІ МАШИНИ У РІЛЬНИЦТВІ

У рільництві електроенергія використовується для привода ґрунтообробних машин та безпосередньо у технологічних процесах (в електротехнології). Цим пояснюється той факт, що вже у 1879 р. на бурякових плантаціях у Франції були проведені перші дослідні оранки за допомогою електролебідок. При цьому лебідка через канатну тягу приводила в дію плуг. А в 1898 р. у Німеччині був сконструйований перший електроплуг.

У Росії проект електрооранки розглядався вперше у 1902 р. на другому електротехнічному з'їзді. Роботи по створенню електроплуга розпочалися в 1919 р. Творцем його був талановитий інженер П. П. Пиляй. На початку вересня 1921 р. перший електроплуг був випробуваний на Шушарській фермі неподалік Петрограда. 22 жовтня 1921 р. на Бутирському хуторі біля Москви була проведена показова оранка плугом балансираного типу. Плуг мав дві рами, розміщених під кутом 120 град. На кожній рамі було навішено по вісім корпусів: правих на одній рамі, лівих — на другій. Плуг приводився в дію двома лебідками, на яких були встановлені трифазні асинхронні двигуни з фазним ротором потужністю 55 кВт, частотою обертання 730 об/хв, напругою 2000 В.

Дослідженнями, проведеними протягом 1930 – 1937 рр., було встановлено, що електролебідки ефективно використовувати для глибокої плантажної оранки на виноградниках, в умовах гірського землеробства та на заливних землях.

Обробіток ґрунту за допомогою електролебідок полягає в тому, що робоча машина (плуг, культиватор, борона та ін.) рухається по полю зворотно-поступально за допомогою каната, який тягне нерухома лебідка. Після закінчення проходу лебідка пересувається на одну-дві ширини захвату знаряддя. У світовій практиці склалося дві системи привода електролебідки — дво- і одномашинна. Двомашинна система складається з двох електролебідок, які встановлюються на кінцях оброблюваного поля. Одномашинна система має одну лебідку з двома барабанами та один-два якірних візки, що розміщуються на протилежних кінцях поля. Електродвигуни лебідок одержують живлення від пересувних трансформаторних підстанцій.

Суттєвою перевагою електролебідок є те, що під час корисної роботи лебідка нерухома і не витрачає енергії на пересування. Але такі агрегати досить громіздкі, масивні, маломаневрені і малопродуктивні. Їх не можна застосовувати для

обробітку просапних культур, оскільки канат пошкоджує рослини. Тому паралельно з цим велися роботи по конструюванню електротрактора, перший зразок якого був виготовлений у 1918 р. у Швеції. У Радянському Союзі перший електротрактор створено в 1928 – 1930 рр. До 1956 р. було сконструйовано близько 20 зразків електротракторів на змінному і постійному струмі з кабельним живленням. Експлуатацією електротракторних агрегатів займалися спеціальні електро-машинно-тракторні станції, наприклад Корсунь-Шевченківська в Черкаській області, яка використовувала дешеvu енергію гідроелектростанцій.

Конструктивна схема таких електротракторів однакова. Замість теплового двигуна на шасі серійного трактора встановлювали електродвигун і додаткове обладнання: кабельний барабан, кабелеприймальний пристрій, струмознімач, апаратуру керування і захисту. До складу агрегату електротрактора входить пересувна трансформаторна підстанція і візок з додатковим кабелем.

Перевагами електротрактора порівняно з електролебідками є його вища маневреність і можливість працювати практично з усіма сільськогосподарськими знаряддями. Порівняно із тепловим трактором електротрактор має такі переваги: дешевший в експлуатації і ремонті; пуск і зупинка електродвигуна миттєві і не залежать від температури зовнішнього середовища; електродвигун має значно більшу перевантажувальну здатність і жорстку механічну характеристику, завдяки чому хід електротрактора більш рівномірний; умови роботи трактористів значно легші; вищий рівень пожежобезпеки; електротрактор практично не дає шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Основні недоліки електротрактора пов'язані з використанням дорогого і неміцного кабелю та пристроїв для його приймання, а також прив'язаністю до ліній електропередачі, що значно знижує його маневреність та економічність.

Тому завдяки розробці теплових двигунів з більшим моторесурсом та відкриттю значних нафтових родовищ, внаслідок чого паливно-мастильні матеріали стали дешевшими, економічна ефективність тракторів з електроприводом стала набагато нижчою порівняно з тепловими тракторами й інтерес до електротракторів зменшився.

Велися також роботи по конструюванню електрифікованих мобільних знарядь і машин. Так, було створено зразки електрофрези, електрокультиватора, зернового електрокомбайна тощо.

Перспективним вважається напрям розробки ґрунтообробних агрегатів з електроприводом активних робочих органів. Експериментальний зразок ґрунтообробного електрифікованого агрегату АПӘ-5,6 виконано за спрощеною схемою варіанта з електротрансмісією. Машина агрегатується з трактором К-701. Активні робочі органи, виконані у вигляді ножових роторів 3 (рис. 9.3), приводяться в дію від асинхронних електродвигунів 5 потужністю 37 кВт кожний. Ротори розміщені над стрілочастими або розпушувальними лапами 4. Електродвигуни одержують живлення від синхронного генератора потужністю 200 кВт, частотою 50 Гц, що приводиться в дію від дизельного двигуна трактора. Останній через механічну передачу приводить в дію ведучі колеса. Перед початком роботи по чергово вмикають електродвигуни привода роторів, а потім починають рух агрегату вздовж гонів. При роботі лапи агрегату підрізують і розпушують шар ґрунту, а ножі ротора, що обертаються з частотою 480 об/хв, подрібнюють поживні залишки та грудки, підпружинені фартухи 7 вирівнюють і ущільнюють розпушений шар ґрунту. Оцінка роботи агрегату по підготовці поля під озимі зернові порівняно з традиційним ґрунтообробним комплексом показала, що при експлуатації першого скорочуються затрати робочого часу на 20,4 %, витрата пального на 20 %, металомісткість знижується на 41,6 %. Одним із напрямів подальшого розвитку і вдосконалення мобільної сільськогосподарської техніки можуть бути розробки автономного електротрактора.

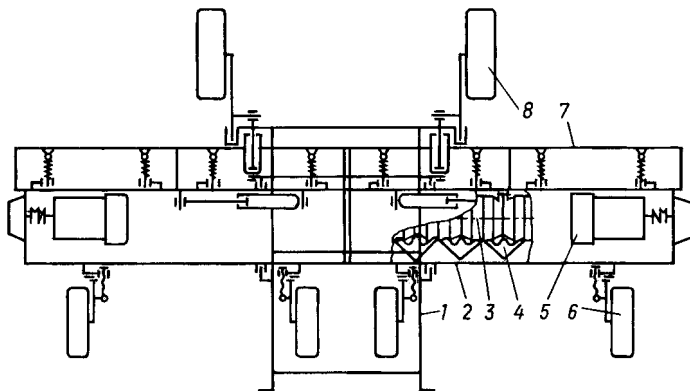


Рис. 9.3. Електрифікований ґрунтообробний агрегат АПӘ-5,6:
 1 — центральна рама; 2 — рама секції; 3 — ножовий ротор; 4 — розпушувальна лапа; 5 — електродвигун; 6 — опорне колесо; 7 — фартух; 8 — транспортне колесо

У цьому відношенні надзвичайно цінний досвід конструювання і широкого використання промислового трактора з електричною трансмісією ДЭТ-250.

Силова установка трактора ДЭТ-250 складається з дизельного двигуна, фрикційної муфти, підвищувального редуктора, генератора постійного струму, тягового електродвигуна і механічної передачі до гусеничних рушіїв. Застосування електричної передачі забезпечує автоматичну зміну тягових зусиль і швидкостей руху агрегату залежно від зовнішніх навантажень. Завдяки цьому дизельний двигун завжди працює в оптимальному режимі, досягається високий ступінь використання його потужності та значне скорочення витрати палива. Трактор ДЭТ-250 знайшов широке застосування в будівництві та при добуванні корисних копалин, для розробки скельних порід, мерзлих та інших важких ґрунтів.

Принципiальна схема розміщення основних вузлів та агрегатів електротрансмісії сільськогосподарського трактора має вигляд, наведений на рис. 9.4, а. Силова установка трактора складається з дизельного двигуна 2, редуктора 3, електричного генератора 4, перетворювача частоти з системою керування, регулювання і захисту 5 та мотор-редукторів 6 привода ходової частини 1. Для живлення електродвигунів активних робочих органів потужність відбирається від електричного генератора. Зменшення маси тягових електродвигунів досягається за рахунок підвищення частоти струму (рис. 9.4, б). Наведені на рисунку аналітичні залежності можуть бути описані виразом

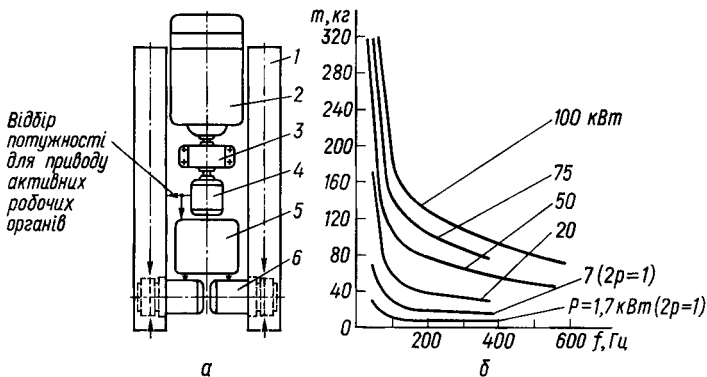


Рис. 9.4. Принципіальна схема дизель-електричного трактора (а) і залежність маси електродвигуна від частоти струму (б):

1 — ходова частина; 2 — дизельний двигун внутрішнього згорання; 3 — редуктор; 4 — генератор; 5 — перетворювач частоти з системою керування, регулювання і захисту; 6 — мотор-редуктор

В умовах паливно-енергетичної кризи перспективним є застосування електропривода мотоблоків, що використовуються на присадибних ділянках та у фермерських господарствах. Інтенсивний пошук оптимальних рішень у цьому напрямі ведеться в науково-дослідних установах України.

Широке впровадження на зернотоках одержали самопересувні машини для післязбиральної обробки зерна: зерноавантажувачі, протравлювачі, зерноочисні машини. Електроенергію до них підводять гнучким кабелем, прокладеним по поверхні току.

Насіннеочисна машина СМ-4 призначена для вторинного очищення зерна і сортування насіння різних культур. Робочі органи машини — завантажувальний скребковий транспортер із шнековими живильниками, два вентилятори, решітний стан, двопотокова норія, трієрний блок і механізм самопересування — приводяться в рух від двох асинхронних електродвигунів.

Механізмом самопересування машина переміщується вздовж бурта при роботі та від бурта до бурта без допоміжних транспортних засобів. Механізм самопересування складається з храпового механізму 5 (рис. 9.5), відкритого циліндричного редуктора 21, ланцюгових передач на ходові колеса 12 і вала керування 13 кулачковими муфтами 17.

При роботі машини обертовий момент від електродвигуна М на ходові колеса передається через храповий механізм 5 і машина рухається на малій швидкості. Для переїзду від од-

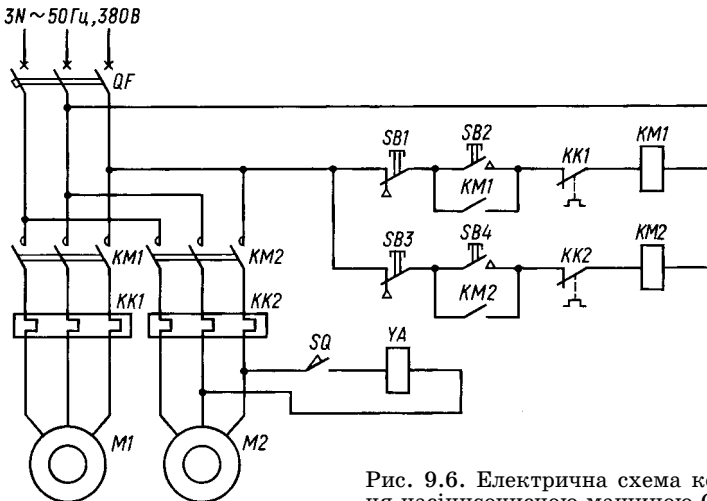


Рис. 9.6. Електрична схема керування насіннеочисною машиною СМ-4

ного робочого місця до іншого з більшою швидкістю замикають півмуфту 11.

Електродвигуни привода робочих органів машини вмикають натисканням кнопок *SB2* і *SB4* (рис. 9.6). Для захисту від коротких замикань встановлено автоматичний вимикач *QF*. Захист електродвигунів від перевантажень здійснюють теплові реле *КК1* і *КК2*. Режим роботи електродвигунів — тривалий із слабкозмінними навантаженням.

Ступінь завантаження машини регулюється автоматично шляхом вмикання і вимикання механізму самопересування. Для цього живильний пристрій, що складається з розподільного шнека 1 (рис. 9.7), рухомої перегородки 2 і підпружиненого клапана-живильника 3, обладнано вимикальним упором 8 і кінцевим вимикачем 4. При переповненні кожуха розподільного шнека клапан 3 відтискується матеріалом, що подається на очищення, і через упор 8 діє на кінцевий вимикач 4 (*SQ*, див. рис. 9.6). Останній вмикає електромагніт 5 (*YA*, див. рис. 9.6), встановлений на механізмі самопересування, який піднімає заскочку 6 храпового колеса 7. Механізм самопересування вимикається, і подача матеріалу на очищення зменшується.

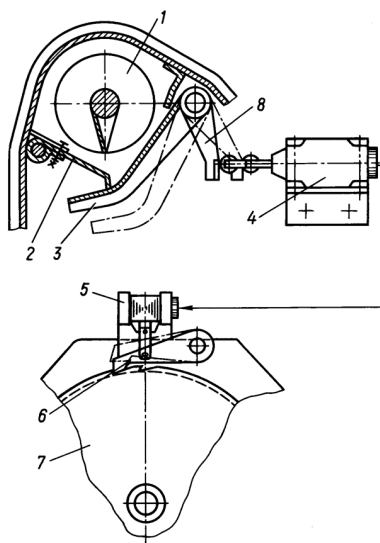


Рис. 9.7. Схема регулятора завантаження насіннеочисної машини СМ-4: 1 — розподільний шнек; 2 — рухома перегородка; 3 — клапан-живильник; 4 — кінцевий вимикач; 5 — електромагніт; 6 — заскочка; 7 — храпове колесо; 8 — упор

9.4. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНІ МАШИНИ У ТВАРИННИЦТВІ

Широкі можливості для застосування електропривода мобільних машин відкриваються у тваринництві, особливо на фермах і комплексах промислового типу. Завдяки невеликим відстаням переміщення електромобільні машини використовують для механізації основних процесів:

- навантаження із сховищ та складських приміщень у транспортні засоби різних видів кормів;

- транспортування вантажів по території ферми;
- роздавання тваринам кормів і кормосумішей;
- прибирання, навантаження в транспорті засоби і буртування гною;
- проведення санітарно-профілактичних заходів (дезинфекція, дезинсекція, опромінення тварин).

Для виконання цих операцій застосовують електромобільні кормоавантажувачі, кормороздавачі, прибиральники і навантажувачі гною, електрокари, пересувні установки для опромінення тварин і птахів, дезинфекції і дезинсекції приміщень. Машини можуть рухатися по твердому покриттю, рейкових коліях або підвісних дорогах. Для живлення електродвигунів використовують гнучкі кабелі, троліє або акумулятори.

Електрифікований кормороздавач КЭС-1,7 призначений для перемішування і двостороннього дозованого роздавання вологих кормових сумішей та сухих концентрованих кормів у приміщеннях свиноферми з централізованим приготуванням кормів у кормоцеху.

Кормороздавач являє собою двовісний візок, який пересувається над годівницями *б* (рис. 9.8) по рейковому шляху *4*. Останній розміщений на жорсткій металевій естакаді. На візку встановлено бункер *1*, всередині якого змонтовано два вивантажувальних шнека *5*. У нижній частині бункера є вивантажувальні вікна, які перекриваються заслінками. Привід заслінок ручний.

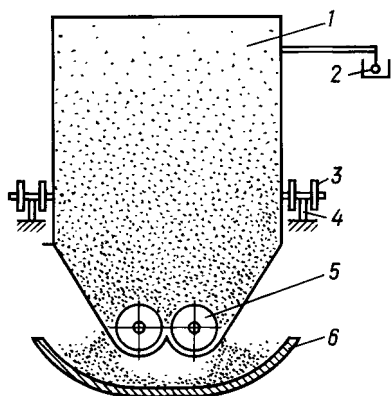


Рис. 9.8. Технологічна схема кормороздавача КЭС-1,7:
1 — бункер; *2* — кабель в лотку; *3* — котки для переміщення кормороздавача; *4* — напрямні рейки; *5* — вивантажувальні шнеки; *б* — годівниця

Завантаження бункера здійснюється при закритих вивантажувальних вікнах і обертових шнеках. Норма видачі корму регулюється величиною відкриття заслінок, а також зміною частоти обертання шнеків переставлянням ланцюга на блоці зірочок привода.

Живлення до кормороздавача підводиться від електромережі змінного струму через кабель *2*, що розміщується в лотку. Привід візка і шнеків індивідуальний від електродвигунів, завдяки чому спрощується кінематична схема (рис. 9.9).

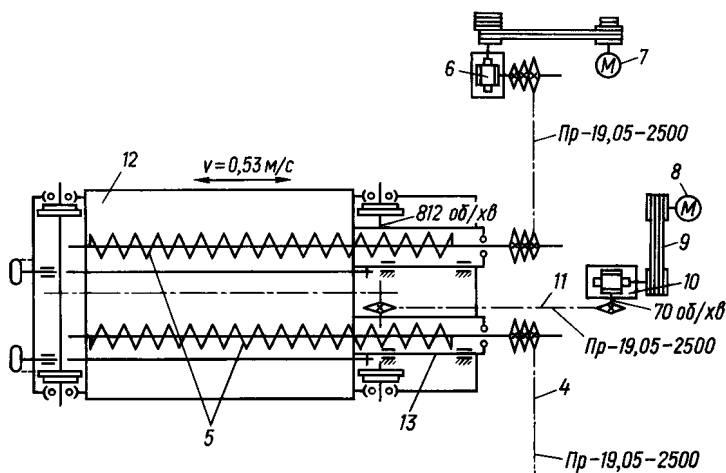


Рис. 9.9. Кінематична схема кормороздавача КЭС-1,7:

1, 7, 8 — електродвигуни; 2, 9 — пасові передачі; 3, 6, 10 — редуктори; 4, 11 — ланцюгові передачі; 5 — вивантажувальні шнеки; 12 — бункер; 13 — шиберна засувка

Електрична схема керування приводом кормороздавача передбачає:

- вмикання електродвигуна механізму переміщення кормороздавача вручну оператором, автоматичний реверс електродвигуна в кінці лінії роздавання корму і автоматичну зупинку у вихідному положенні;
- можливість керування роботою механізму роздавання корму в ручному та автоматичному режимах;
- автоматичне вмикання і зупинку двигунів привода шнеків на заданих ділянках лінії роздавання кормів;
- захист електродвигунів від перевантажень;
- захист силових кіл і кіл керування від коротких замикань;
- сигналізацію про наявність напруги на колах керування та аварійне вимикання двигунів шнеків;
- можливість підключення зовнішнього сигнального пристрою;
- електричні блокування, що запобігають неправильному вмиканню магнітних пускачів.

Напруга на силові кола і кола керування подається автоматичним вимикачем *QF1* (рис. 9.10). При цьому загоряється сигнальна лампа *HL1* і спрацьовує реле аварійного вимикання двигунів шнеків *KL1*. Реле *KL1* розмикаючим контак-

том розмикає коло сигнальної лампи *HL2*, а замикаючим готує до роботи коло керування двигунами привода шнеків.

Перемикачем *SA1* вибирають напрямок руху візка, перемикачем *SA2* — режим роботи шнеків: ручний або автоматичний.

Натисканням кнопок *SB1.2* і *SB1.3* керують електродвигуном *M1* привода механізму керування кормороздавача в напрямках “Вперед” і “Назад”. Автоматичний реверс двигуна *M1* з напрямку “Вперед” на напрямок “Назад” здійснюється натисканням кінцевого вимикача *SQ2*. При цьому магнітний пускач *KM1* вимикається, а пускач *KM2* вмикає двигун *M1* на зворотне обертання. Коли кормороздавач підійде до вихідного положення, спрацює кінцевий вимикач *SQ1*, і двигун *M1* зупиняється. Двигун *M1* можна зупинити також натисканням кнопки *SB1.1*.

При установленні перемикача *SA2* у положення “- 45” пуск і зупинку електродвигунів *M2* і *M3* шнеків здійснює оператор натисканням кнопок *SB2* і *SB3* незалежно від напрямку руху кормороздавача.

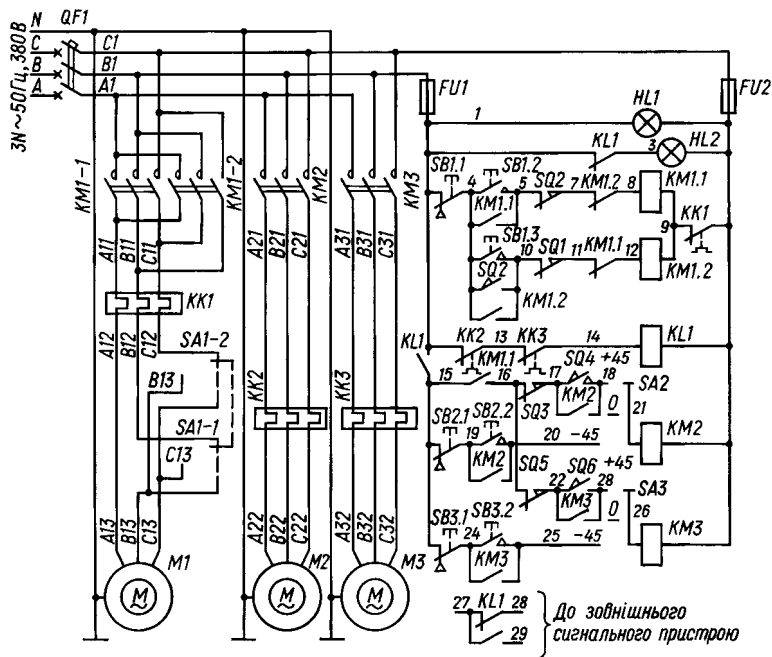


Рис. 9.10. Електрична схема керування кормороздавачем КЭС-1,7

Для роботи двигунів шнеків в автоматичному режимі перемикач *SA2* ставлять у положення “+ 45°”. Електродвигуни *M2* і *M3* вмикаються автоматично після натискання кінцевих вимикачів *SQ4* і *SQ6* відповідно. Вимикаються двигуни натисканням кінцевих вимикачів *SQ3* і *SQ5*.

Магнітні пускачі привода шнеків *KM2* і *KM3* зблоковані з пускачами привода пересування кормороздавача так, що в автоматичному режимі шнеки можуть працювати тільки при увімкненому пускачі *KM1.1*. Тому роздавання корму можливе тільки при русі кормороздавача вперед. Магнітні пускачі *KM1.1* і *KM1.2* привода пересування зблоковані між собою розмикаючими контактами, що запобігають одночасному їх вмиканню.

Електроприводи шнеків також зблоковані між собою контактами теплових реле *KK1* і *KK2* та реле аварійного вимикання так, що при спрацюванні захисту від перевантажень одного з двигунів шнеків інший двигун також зупиняється і загоряється сигнальна лампа *HL2*.

Передбачено також неможливість вмикання електродвигуна *M1* назад кнопкою *SB3.1* при настисненому кінцевому вимикачі *SQ1* (вихідне положення кормороздавача).

Захист двигунів від перевантажень здійснюється тепловими реле *KK1*, *KK2* і *KK3*, силових кіл від коротких замикань — автоматичним вимикачем *QF1*, кіл керування — запобіжниками *FU1* і *FU2*.

Сигнал про можливість роботи двигунів привода шнеків передається на зовнішній сигнальний пристрій за допомогою контактів реле *KL1*.

9.5. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ І ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ПРИВОДА МОБІЛЬНИХ КОРМОРОЗДАВАЧІВ

Продуктивність кормороздавача Q , т/год, дорівнює

$$Q = 3,6 \frac{qn_T}{a} v, \quad (9.2)$$

де q — норма видачі корму на одну голову, кг; n_T — кількість тварин або птиці на одне кормомісце; a — довжина одного кормомісця, м; v — робоча швидкість кормороздавача, м/с.

Кількість корму, доставленого за один рейс кормороздавача G , кг, становить

$$G_K = \frac{\gamma V}{\psi}, \quad (9.3)$$

де γ — об'ємна маса корму, кг/м³; V — місткість бункера, м³; ψ — коефіцієнт заповнення бункера (0,75 — 0,8).

Довжина фронту годівлі L , м, дорівнює

$$L = \frac{an_c}{n_T}, \quad (9.4)$$

де n_c — кількість кормомісць.

Потужність для пересування рейкового кормороздавача P_{Π} , кВт, становить

$$P_{\Pi} = \frac{Fv}{1000}, \quad (9.5)$$

де F — сила опору навантаженого кормороздавача, Н.

При переміщенні кормороздавача сила F зумовлюється двома складовими:

$$F = F_T + F_K, \quad (9.6)$$

де F_T — сила опору тертю, Н; F_K — сила опору при переміщенні кормороздавача на підйом під кутом α , Н.

Сила опору тертю F_T дорівнює

$$F_T = 9,81(m_0 + m_K) \frac{2\mu + df}{D_K} k_p, \quad (9.7)$$

де m_0 і m_K — відповідно власна маса кормороздавача і маса корму, що знаходиться в бункері, кг; μ — плече тертя кочення, мм; d — внутрішній діаметр підшипників ходової частини, мм; f — коефіцієнт тертя в підшипниках; D_K — діаметр ходового колеса, мм; k_p — коефіцієнт, що враховує опір тертя реборди котків об головки рейок.

Сила опору при переміщенні кормороздавача на підйом F_K становить

$$F_K = 9,81(m_0 + m_K) \sin \alpha, \quad (9.8)$$

де α — уклон шляху, при горизонтальному переміщенні приймають $\alpha = 1,5^\circ$; при русі на підйом приймається фактичне значення кута підйому.

Потужність електродвигуна $P_{ДВ}$ для пересування кормороздавача визначається за виразом

$$P_{ДВ} = \frac{P_{\Pi}}{\eta_{\Pi}}, \quad (9.9)$$

де η_{Π} — ККД застосовуваних у машині передач від електродвигуна до ходових коліс.

Відомо, що максимальний опір руху кормороздавача виникає під час розгону, і його слід враховувати при перевірці вибраного двигуна за умовами пуску:

$$0,8M_{\text{дв.пуск}} \geq M_{\text{с.п.зв}}, \quad (9.10)$$

де $M_{\text{дв.пуск}}$ — пусковий момент електродвигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $M_{\text{с.п.зв}}$ — момент статичних опорів на валу двигуна при розгоні кормороздавача, зведений до вала електродвигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Величину $M_{\text{с.п.зв}}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$, визначають за формулою

$$M_{\text{с.п.зв}} = \frac{F_{\Pi} D_{\text{к}}}{2i\eta_{\Pi}}, \quad (9.11)$$

де $F_{\Pi} = F_{\text{Т}} + F_{\text{к}} + F_i$ — повна сила опору під час розгону, Н ;

$F_i = \frac{(m_0 + m_{\text{к}})v}{t_{\text{р}}}$ — сила опору від інерції під час розгону, Н ;

i — передаточне число механічних передач від електродвигуна до ходових коліс; $t_{\text{р}}$ — час розгону кормороздавача, с .

Потужність для пересування мобільних транспортних засобів по дорогах з твердим покриттям або без покриття визначається за виразом (9.5). Для обчислення сили опору тертя можна скористатися рівнянням

$$F_{\text{Т}} = f_0 m, \quad (9.12)$$

де f_0 — коефіцієнт опору пересуванню машини на прямолинійній горизонтальній ділянці шляху, Н/кг ; m — маса транспортної одиниці з вантажем, кг .

Значення коефіцієнта f_0 , що залежить від якості і стану доріг, наведено в табл. 9.1.

9.1. Значення коефіцієнта опору пересуванню транспортної одиниці

Вид і стан дороги	f_0 , Н/кг	Вид і стан дороги	f_0 , Н/кг
Присадібні дороги	0,12 – 0,20	Шосе в доброму стані	0,18 – 0,20
Асфальтована		Забруднене шосе	0,25 – 0,30
і бетонована	0,10 – 0,20	Бруківка	0,20 – 0,25
Дерев'яний настил з		Засніжена дорога	0,35 – 0,40
брусків або дощок, лід	0,15 – 0,20	Грунтова дорога	0,45 – 0,80

Додатковий опір пересуванню на підйомі обчислюють за виразом (9.8). Якщо транспортний засіб рухається під уклон, то складова F_k направлена в бік руху і є не опором, а тяговим зусиллям. Тому в формулу (9.6) значення F_k увійде зі знаком мінус.

Робочими органами, що роздають корми, є шнеки, стрічкові, ланцюгові, скребкові та інші транспортери. Визначення потужності електродвигунів для їх привода розглянуто в розділі 4.

Для забезпечення рівномірного роздавання корму в годівниці швидкість руху кормороздавача і робочих органів має бути постійною. Цю вимогу задовольняють асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором та двигуни постійного струму з паралельним збудженням при живленні від мережі. Якщо джерелом струму є акумулятори, то швидкість руху залежить від стану їх зарядженості. У таких випадках при розробці електропривода слід передбачати автоматичну стабілізацію швидкості пересування кормороздавача і продуктивності його робочих органів.

При неоднорідному поголів'ї тварин і птиці норма видачі може змінюватися по довжині фронту годівлі. Для забезпечення такого режиму роботи передбачають регульований електропривід з мікропроцесорним керуванням, який швидко переналагоджується.

10. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕРСТАТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА СТЕНДІВ

10.1. ПРИВІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ. ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

У господарствах, ремонтних майстернях з метою виконання робіт з ремонту та відновлення різноманітних деталей, приладів та інших виробів використовуються металообробні верстати. Залежно від розмірів господарства або ремонтної майстерні використовують велику кількість металорізальних верстатів, різних за своїм призначенням, технологічними можливостями, розмірами. Найширше застосовують токарно-гвинтові, свердлильні, фрезерні, шліфувальні, стругальні та інші верстати спеціального призначення. Металорізальні верстати використовують для обробки заготовок за розмірами

зняттям стружки. Для одержання деталі потрібної форми і розмірів робочим органам потрібно передати ряд узгоджених між собою рухів. Ці рухи умовно поділяють на основні та допоміжні. До основних рухів відносять головний рух різання та рух подачі. Допоміжні рухи потрібні для підготовки процесу різання.

У верстатів токарної групи головним рухом є обертання заготовки; у фрезерних, шліфувальних та свердлильних — обертання інструмента, у довбальних — зворотно-поступальний рух інструмента, у поздовжньо-стругальних — зворотно-поступальний рух заготовки.

Для приведення в дію виконавчих органів верстата застосовують електродвигуни з коробками швидкостей. На верстатах, які використовуються у ремонтних майстернях господарств, встановлюють, як правило, трифазні одношвидкісні асинхронні короткозамкнені електродвигуни і дуже рідко багатшвидкісні електродвигуни та двигуни постійного струму.

Сучасні металорізальні верстати мають індивідуальні або багатодвигунові приводи. Електродвигун може бути розміщений поруч з верстатом, безпосередньо у верстаті, вмонтований у передню бабку. Привід з шестерінчастою коробкою швидкостей є найрозповсюдженішим типом головного руху у металорізальних верстатах.

Суттєвим недоліком цього привода є ступінчастість регулювання швидкості і порівняно низький коефіцієнт корисної дії. Спрощену кінематичну схему токарно-гвинторізного верстата наведено на рис. 10.1.

Шпиндель 1 одержує обертання від електродвигуна М за допомогою пасової передачі зі шківками d_1 та d_2 , зубчастої пари z_1 та z_2 , пари змінних зубчастих коліс a' , b' та зубчастих коліс z_3 та z_4 .

Різець, який укріплено на супорті 2, одержує прямолінійний рух уздовж осі

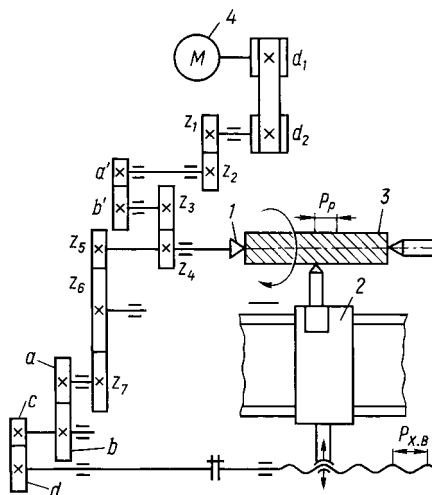


Рис. 10.1. Спрощена кінематична схема токарно-гвинторізного верстата: 1 — шпиндель; 2 — супорт; 3 — деталь, що обробляється; 4 — електродвигун

заготовки від ходового гвинта, який приводиться до обертання від шпинделя 1 через пару циліндричних зубчастих коліс z_5, z_6, z_7 та змінні зубчасті колеса a, b, c, d .

Обертання шпинделя із заготовкою є головним рухом, а рух різця уздовж осі заготовки — рухом подачі. Допоміжному та приводу подач притаманне навантаження з постійним моментом тертя.

Приводи основних рухів товарно-гвинторізних верстатів працюють у тривалому режимі із змінним навантаженням. У свердлильних і шліфувальних верстатах зустрічаються приводи з характерним повторно-короткочасним режимом. Допоміжні приводи працюють, як правило, у короткочасному режимі.

У зв'язку з тим, що під час ремонтних робіт в умовах майстерень обробляють найрізноманітніші деталі, вибір потужності електродвигуна здійснюється із розрахунку на найбільш енергоємний конкретний технологічний процес. Потужність різання P_p , Вт, визначають за виразом

$$P_p = F_p v, \quad (10.1)$$

де F_p — сила різання, Н; v — швидкість різання, м/с.

Потужність електродвигуна P для привода дорівнює

$$P = \frac{P_p}{\eta}, \quad (10.2)$$

де η — коефіцієнт корисної дії верстата, $\eta = 0,75 - 0,8$.

Зусилля різання F_p , Н, визначається за формулою

$$F_p = 9,81 C_p t S^{0,75}, \quad (10.3)$$

де C_p — коефіцієнт, який враховує властивості матеріалу, що обробляється, та умови роботи, $C_p = 81 - 200$; t — глибина різання, мм; S — подача; $S = 0,1 - 2$ мм/об.

При зміні умов роботи у формулу для розрахунку сил вводять (з довідників) такі поправочні коефіцієнти: міцності матеріалу, що обробляється, зношування різця по задній поверхні, форми передньої поверхні та ін. За умов затуплення різця сили різання зростають. Використання мастильно-охолоджуючих рідин на 10 – 15 % зменшує сили різання.

Глибину різання вибирають відповідно до припуску на обробку на цій операції. Якщо припуск не можна зняти

за один прохід, кількість проходів має бути якомога меншою. При чистовому точінні глибину різання беруть у межах 0,1 – 2 мм.

Після визначення глибини різання вибирають максимально технологічно допустиму подачу (з урахуванням класу шорсткості обробленої поверхні, потужності верстата, шорсткості деталі, що обробляється, і міцності різця). При чистовій обробці подача, як правило, обмежується класом шорсткості обробленої деталі.

Швидкість різання визначають після того, як виберуть глибину різання і подачу. Швидкість різання v , м/хв, розраховують за формулою

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y}, \quad (10.4)$$

де C_v — коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал, матеріал різця та вид токарної обробки, $C_v = 18 - 262$; T — стійкість різця (тривалість його роботи між двома заточуваннями), хв; m , x , y — показники степеня, що залежать відповідно від оброблюваного матеріалу, матеріалу різця та виду обробки.

Потужність подачі P_{Π} , Вт, при різанні визначають за виразом

$$P_{\Pi} = \frac{F_{\Pi} v_{\Pi}}{60}, \quad (10.5)$$

де F_{Π} — зусилля подачі при різанні, Н; v_{Π} — швидкість подачі, мм/хв.

Зусилля подачі при різанні знаходять за формулою

$$F_{\Pi} = kF_x + (9,81m + F_p) f, \quad (10.6)$$

де k — коефіцієнт запасу, який враховує перекося; f — коефіцієнт тертя при пересуванні супорта; m — маса супорта, кг; F_x — складова сили різання в напрямку подачі, Н, $F_x \approx 0,001F_p$.

Швидкість подачі дорівнює

$$v_{\Pi} = Sn, \quad (10.7)$$

де S — подача, мм/об; n — частота обертання шпинделя, об/хв.

Потужність електродвигуна для привода свердлильного верстата визначається за потужністю, яка витрачається на свердління:

$$P_{\text{св}} = M_{\text{св}} \omega. \quad (10.8)$$

Кутова швидкість свердла ω дорівнює:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = 33,3 \frac{v_{\text{св}}}{d}, \quad (10.9)$$

де $v_{\text{св}}$ — швидкість різання при свердлінні, мм/с; d — діаметр свердла, мм.

Крутний момент $M_{\text{св}}$, Н · м, на свердлі визначається за емпіричною формулою

$$M_{\text{св}} = 9,81 C_m d^{x_m} S^{y_m}, \quad (10.10)$$

де C_m — коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал; S — подача свердла, мм/об; x_m, y_m — показники степеня, які залежать відповідно від властивостей оброблюваного матеріалу і розміру свердла.

Експериментально доведено, що швидкість різання при свердлінні можна визначити за виразом

$$v_{\text{св}} = \frac{C_v d^{q_v}}{T^m S^{y_v}}, \quad (10.11)$$

де C_v — коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу і матеріалу свердла; T — стійкість свердла, хв, $T = 6 - 210$; m, q_v, y_v — показники степеня, які залежать відповідно від оброблюваного матеріалу і матеріалу свердла. Вказані величини визначаються на підставі експериментальних даних за відповідними таблицями.

Подачу свердла визначають за формулою

$$S = C_s d^{x_s}, \quad (10.12)$$

де C_s — коефіцієнт, який залежить від якості оброблюваного матеріалу і характеру обробки; x_s — показник степеня.

Крутний момент різання долається крутним моментом на шпинделі верстата. Потужність, яка витрачається на різання, складається з потужностей, які витрачаються на обертання та осьове пересування свердла. Потужність подачі є

досить малою і становить 0,5 – 1,5 % від потужності, яка витрачається на обертання свердла.

Потужність електродвигуна для привода шпинделя верстата може бути визначеною за виразом

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{різ}}}{\eta_{\text{в}}}, \quad (10.13)$$

де $\eta_{\text{в}}$ — коефіцієнт корисної дії верстата.

На величину осьової сили й крутного моменту впливають такі основні фактори: фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, діаметр свердла та величина подачі, геометричні параметри свердла, швидкість різання, мастильно-охолоджуюча рідина тощо.

При шліфуванні потужність $P_{\text{к}}$, Вт, яка витрачається на обертання шліфувального круга, визначається за виразом

$$P_{\text{к}} = F_{\text{різ}} v_{\text{к}}, \quad (10.14)$$

де $F_{\text{різ}}$ — зусилля різання, Н; $v_{\text{к}}$ — колова швидкість круга, м/с.

Зусилля різання $F_{\text{різ}}$, Н, визначається за емпіричною формулою

$$F_{\text{різ}} = 9,81 C_{\text{різ}} v_{\text{дет}}^{0,7} S^{0,7} t^{0,6}, \quad (10.15)$$

де $C_{\text{різ}}$ — постійний коефіцієнт, $C_{\text{різ}} = 2 - 2,2$; $v_{\text{дет}}$ — колова швидкість деталі, м/хв, $v_{\text{дет}} = 20 - 60$; S — подача, мм/об, $S = 0,2 - 0,7$; t — глибина шліфування, мм, $t = 0,005 - 0,08$.

Потужність $P_{\text{дет}}$, Вт, яка витрачається на обертання деталі, визначається за виразом

$$P_{\text{дет}} = F_{\text{різ}} v_{\text{дет}}. \quad (10.16)$$

Потужність на обертання деталі приблизно в 60 – 100 разів менша за потужність різання внаслідок повільного обертання деталі.

Потужність електродвигуна для шліфувального верстата дорівнює

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{різ}} + P_{\text{дет}}}{\eta}, \quad (10.17)$$

де η — коефіцієнт корисної дії верстата.

Потужність електродвигуна $P_{\text{дв}}$, Вт, для привода стругального верстата визначають за формулою

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{різ}} v}{\eta}, \quad (10.18)$$

де $F_{\text{різ}}$ — головна складова сили різання, Н; v — середня швидкість робочого ходу, м/с; η — ККД передачі.

Зусилля різання визначають як для токарного верстата.

Глибину різання за умов чорнового на напівчорнового стругання визначають залежно від припуску на обробку. Подачу вибирають максимально допустиму згідно з технологічними вимогами.

Швидкість різання v , м/хв, визначають за виразом

$$v = \frac{C_v}{T^m e^x S^x}. \quad (10.19)$$

До цієї формули вводять додатковий поправочний коефіцієнт на тип верстата (1 — для поздовжньо-стругальних; 0,8 — для поперечно-стругальних; 0,6 — для довбальних). Відповідно до швидкості різання визначають кількість подвійних ходів різання. Згідно з паспортом верстата вибирають найближче менше значення подвійних ходів за хвилину і потім визначають фактичну середню швидкість різання.

10.2. ПРИВІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ. ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Деревообробні верстати знайшли широке застосування для виготовлення та ремонту транспортних засобів, інвентарю, тари, рам, дверей, при ремонті та будівництві житла і тваринницьких приміщень. Електродвигуни використовують для привода лісопильних рам, круглопильних, фугувальних, стругальних, фрезерних, свердлильних та інших верстатів.

Лісопилні рами використовують для поздовжнього розпилювання деревини діаметром до 45 см на дошки, бруси та інші пиломатеріали від 2 до 8 м завдовжки.

Технологічний процес розпилювання стовбурів (колод) такий. Обертальний рух від електродвигуна через передачу та кривошип перетворюється на зворотно-поступальний рух пиляльної рами. Вона містить у собі від 8 до 14 розміщених на певній відстані пилок. Колода до пиляльної рами подається вручну або за допомогою спеціального механізму подачі.

Потужність привода лісопилної рами залежить від діаметра колоди, кількості пилок, подачі, частоти обертання привідного вала та ходу пиляльної рами.

Для привода лісопилної рами вибирають електродвигун, який має достатній пусковий момент, оскільки часто буває, що перед пуском пиляльна рама знаходиться у нижньому мертвому положенні.

Залежність моменту статичних опорів може бути прийнята синусоїдальною:

$$M_c = M_{c \max} \sin \varphi, \quad (10.20)$$

де $M_{c \max}$ — амплітудне значення моменту статичних опорів, Н · м; φ — кут повороту привідного вала.

Враховуючи, що за перший період зміни M_c швидкість двигуна на пусковій частині механічної характеристики змінюється в невеликих межах, розгін системи можливий за умов:

$$M_{\text{пуск}} > M_{c \max}. \quad (10.21)$$

Потужність привода, P , кВт, при конструюванні пилорами визначається залежно від продуктивності:

$$P = P_{\text{різ}} + P_{\text{п}} + 1,1P_{\text{х.х}}, \quad (10.22)$$

де $P_{\text{різ}}$ — потужність, яка витрачається на різання з урахуванням затуплення пилок, кВт; $P_{\text{п}}$ — потужність, яка витрачається на подачу, кВт; $P_{\text{х.х}}$ — потужність холостого ходу, кВт.

Потрібна потужність $P_{\text{різ}}$, Вт, на різання визначається за формулою

$$P_{\text{різ}} = F_{\text{різ}} v, \quad (10.23)$$

де $F_{\text{різ}}$ — зусилля різання, Н; v — швидкість різання, м/с.

Зусилля різання для лісопилної рами визначають за емпіричною формулою

$$F_{\text{різ}} = \frac{kb \sum h \Delta}{H}, \quad (10.24)$$

де k — питомий опір пилянню при розпилюванні сосни, Н/мм²; b — ширина пропилу, мм; Δ — подача, мм; H — хід

пиляльної рами, мм; $\sum h$ — сума висот пропилів, яка вимірюється посередині пропилу колоди, мм. Підраховується за формулою

$$\sum h = 0,75D_{\text{ср}}z, \quad (10.25)$$

де $D_{\text{ср}}$ — діаметр середнього перерізу колоди, мм; z — кількість пилок у пилорамі; 0,75 — коефіцієнт використання форми колоди.

При затупленні пилки зусилля різання зростає, тому залежно від тривалості роботи вводять поправочні коефіцієнти:

Тривалість роботи, год	1	2	3	4
Поправочний коефіцієнт K	1,14	1,27	1,4	1,5

Значення K для дерев інших порід приймається з поправочним коефіцієнтом: для липи — 0,8; ялини — 0,9; модрина — 1,07; берези — 1,30; дуба — 1,55; ясеню — 2.

При розпилюванні на лісопилній рамі подачу визначають за формулою

$$\Delta = \frac{QH}{\sigma l} t, \quad (10.26)$$

де Q — коефіцієнт площі западини, що являє собою відношення площі западини, яка визначається геометричним шляхом, до квадрата кроку зубця; σ — коефіцієнт розривлення деревини, $\sigma = 0,4 - 0,7$ — для хвойних порід, $\sigma = 0,8 - 1,5$ — для твердих порід; t — крок зубця пилки, м; l — довжина деревини, м.

З урахуванням міцності зубця його крок визначають за формулою

$$t = \sqrt{\frac{\sigma}{Q} ESh}, \quad (10.27)$$

де E — коефіцієнт міцності зубця; $E = 0,3 - 0,4$ — для м'яких порід, $E = 0,2 - 0,3$ — для твердих порід; S — товщина пилки, мм; h — висота пропилу, мм.

На лісопилній рамі швидкість різання — величина змінна, що залежить від швидкості руху пиляльної рами й при радіусі кривошипа R може бути визначена за виразом

$$v = \omega R \sin \varphi. \quad (10.28)$$

При $\varphi = 90^\circ$ швидкість різання має максимальне значення і дорівнює

$$v_{\text{max}} = \omega R = \frac{\pi D n}{60}. \quad (10.29)$$

Практично середню швидкість різання визначають за формулою

$$v_{\text{ср}} = \frac{2Dn}{60}, \quad (10.30)$$

де D — діаметр кривошипа, м; n — частота обертання корінного вала, об/хв.

Потужність холостого ходу пилорами $P_{\text{х.х}}$, Вт, залежно від виду визначають за емпіричною формулою

$$P_{\text{х.х}} = k_{\text{п}} m n^2 R \cdot 10^{-4}, \quad (10.31)$$

де $k_{\text{п}} = 1,97$ — коефіцієнт для пилорам на підшипниках ковчання; $k_{\text{п}} = 1,44$ — коефіцієнт для пилорам на підшипниках ковчання; m — маса усіх рухомих частин, кг; R — радіус кривошипа, м.

Потрібну потужність електродвигуна на подачу деревини P , Вт, визначають за виразом

$$P = \frac{F_{\text{п}} v_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}}, \quad (10.32)$$

де $F_{\text{п}}$ — зусилля, яке витрачається на подачу деревини, приблизно приймається $F_{\text{п}} = F_{\text{різ}}$, Н; $\eta_{\text{п}}$ — коефіцієнт корисної дії механізму подачі; $v_{\text{п}}$ — швидкість подачі, м/с.

Швидкість подачі дорівнює

$$v_{\text{п}} = \frac{U_z}{t} v_{\text{ср}}, \quad (10.33)$$

де U_z — подача на зубець, мм, $U_z = 1,4 - 2$; t — крок зубця, м.

Круглопилні верстати використовуються для поздовжнього і поперечного розпилювання деревини. Подача деревини здійснюється безперервно або ж періодично. За умов безперервної подачі деревини потужність електродвигуна P , Вт, визначають як для тривалого режиму за формулою

$$P = \frac{F_{\text{різ}} v_{\text{різ}}}{\eta_{\text{п}}},$$

де $F_{\text{різ}}$ — середня дотична сила різання, Н; $v_{\text{різ}}$ — швидкість різання, м/с; $\eta_{\text{п}}$ — коефіцієнт корисної дії передачі.

Середня дотична сила різання дорівнює

$$F_{\text{різ}} = kbHv_{\text{п}}, \quad (10.34)$$

де k — питоме зусилля різання, яке визначається за таблицями та номограмами, Н/мм², $k = 10 - 46$; b — ширина пропилу, мм; H — висота пропилу, мм; $v_{\text{п}}$ — швидкість подачі, м/с.

Швидкість подачі залежить від можливої подачі деревини на один зуб пилки. Оптимальна подача для круглих пилок при поздовжньому розпилюванні хвойних порід становить 0,8 – 1 мм.

Знаючи подачу на один зуб пилки, підраховують швидкість подачі $v_{\text{п}}$, мм/с, за формулою

$$v_{\text{п}} = \frac{v_z Z \omega}{\pi 2000}, \quad (10.35)$$

де v_z — подача на один зуб, мм; Z — число зубів пилки; ω — кутова швидкість пилки, 1/с.

У круглопилних верстатах швидкість різання являє собою швидкість передніх різальних кромки і становить

$$v_{\text{різ}} = \omega R, \quad (10.36)$$

де R — радіус пилки, м.

На круглих пилках швидкість різання, як правило, становить 40 – 70 м/с.

Потужність подачі $P_{\text{п}}$, Вт, визначається за виразом

$$P_{\text{п}} = F_{\text{п}} v_{\text{п}}, \quad (10.37)$$

де $F_{\text{п}}$ — зусилля подачі, Н.

Зусилля подачі дорівнює

$$F_{\text{п}} = F_{\text{різ}} \cos \varphi + F_0 \sin \varphi + (9,81m + F_{\text{різ}} \sin \varphi - F_0 \cos \varphi)f, \quad (10.38)$$

де $F_0 = (0,2 - 0,08)F_{\text{різ}}$ — зусилля відтискування, яке залежить від ступеня затуплення пилки, форми зуба, Н; m — маса матеріалу, що подається, кг; f — коефіцієнт тертя деревини по поверхні столу, $f = 0,35 - 0,4$ для сосни та дуба; φ — кут між віссю бруса та напрямком дотичної сили різання.

Для стругальних верстатів потужність електродвигуна P , Вт, визначається за виразом

$$P = \frac{F_{\text{різ}} v_{\text{різ}}}{\eta_{\text{п}}},$$

де $F_{\text{різ}}$ — зусилля різання, Н; $v_{\text{різ}}$ — швидкість різання, м/с; $\eta_{\text{п}}$ — коефіцієнт корисної дії передачі.

Середнє дотичне зусилля різання $F_{\text{різ}}$, Н, дорівнює

$$F_{\text{різ}} = \frac{k b h v_{\text{п}}}{v_{\text{різ}}}, \quad (10.39)$$

де k — питомий опір різанню, Н/мм²; b — ширина шару деревини, що знімається, мм; h — висота шару, який знімається, мм; $v_{\text{п}}$ — швидкість подачі, мм, $v_{\text{п}} = 0,3 - 3$ на один ніж; $v_{\text{різ}}$ — швидкість різання, м/с.

10.3. ОСОБЛИВОСТІ СХЕМ КЕРУВАННЯ ДЕРЕВО-І МЕТАЛООБРОБНИМИ ВЕРСТАТАМИ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЯ

Сучасні вертикальні лісопилні рами приводяться в дію від двох електродвигунів: від одного, найбільш потужного — кривошипний вал, від іншого — механізм подачі. У лісопилних рамах пізніших конструкцій є третій електродвигун для привода гідронасоса. Привідний вал лісопилної рами зв'язаний з привідним двигуном, як правило, за допомогою пасової передачі. Залежно від типу рами частота обертання кривошипного вала становить 200 – 500 об/хв.

Для того, щоб за умов динамічного навантаження хід був рівномірнішим, лісопилні рами оснащують маховиками, однак це погіршує умови їх пуску.

Привід кривошипного вала здійснюється від асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим ротором.

При пуску пилами асинхронним двигуном з фазним ротором забезпечується великий пусковий момент.

Схемою керування (рис. 10.2) передбачено ступінчастий пуск двигуна у функції часу, нульове блокування, захист силових кіл і кіл керування від коротких замикань та захист двигуна від перевантажень.

При вмиканні автоматичного вимикача QF без витримки часу спрацьовують реле часу $KT1$, $KT2$ і $KT3$ і розмикають свої контакти в колах котушок контакторів прискорення

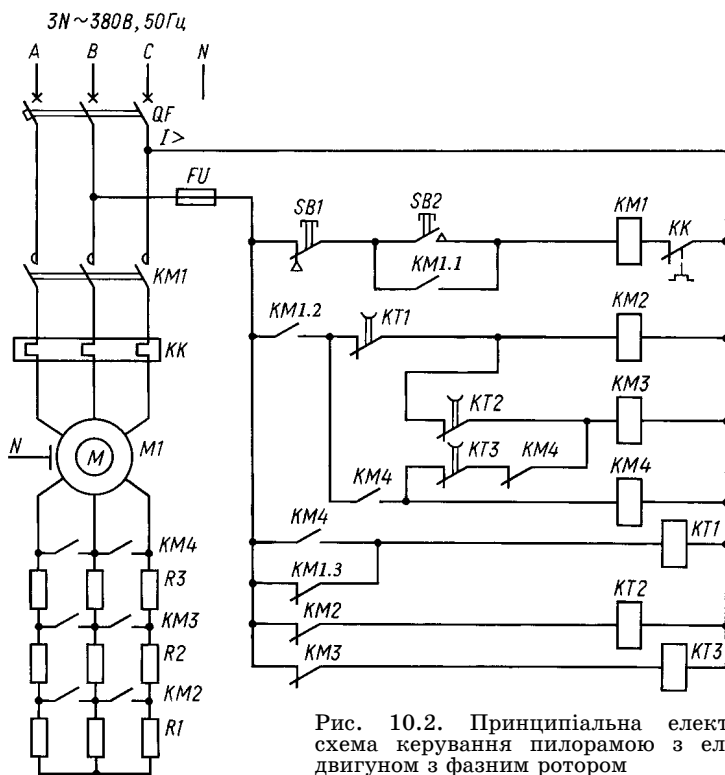


Рис. 10.2. Принципіальна електрична схема керування пилоромою з електродвигуном з фазним ротором

КМ2, КМ3 і КМ4. Натисканням на кнопку *SB2* подають напругу на котушку лінійного контактора *КМ1*. Останній головними контактами вмикає обмотку статора двигуна *M* у мережу, допоміжним контактом *КМ1.1* шунтує контакт кнопки *SB2*, контактом *КМ1.2* готує до роботи кола котушок контакторів прискорення, а контактом *КМ1.3* знеструмлює котушку реле часу *КТ1*. Двигун запускається з повністю введеним в коло ротора пусковим резистором. Після закінчення витримки часу реле *КТ1* своїм контактом замикає коло котушки контактора *КМ2*, який головними контактами шунтує перший ступінь *R1* пускового резистора, а допоміжним розмикаючим знеструмлює реле часу *КТ2*. Останнє вмикає контактор *КМ3*, головні контакти якого шунтують другий ступінь *R2* резистора. Аналогічно спрацьовує контактор *КМ4* і замикає накоротко виводи обмотки ротора двигуна. Одночасно через замикаючий допоміжний контакт *КМ4* вмикається реле часу *КТ1*, яке знеструмлює котушки конта-

кторів *КМ2* і *КМ3*. Для зупинки двигуна натискають на кнопку *SB1*. Захист від коротких замикань здійснюють автоматичний вимикач *QF* і запобіжник *FU*, захист двигуна від перевантажень — теплове реле *КК*.

Схему керування пилоравою з асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором наведено на рис. 10.3.

При натисканні на кнопку *SB3* одержує живлення котушка магнітного пускача *КМ2*, який вмикає електродвигун привода гідронасоса. Замикаючий контакт *КМ2* готує до вмикання котушку магнітного пускача *КМ1*. З метою полегшення умов пуску пиляльну раму зупиняють ручним гальмом у верхній мертвій точці, контакти кінцевого вимикача *SQ1* будуть замкнені у тому випадку, якщо з маховика пилорами буде знято ручне гальмо.

Перед пуском головного двигуна натисканням кнопки *SB4* вмикається сирена *HA* та проміжне реле *KV1*, контакти якого шунтують пускову кнопку *SB4*. Через певний час натисканням кнопки *SB6* подають струм на котушку пускача *КМ1*, який вмикає основний двигун. Розмикаючі контакти *КМ1* вмикають сирену *HA*.

При натисканні на кнопку *SB7* одержує живлення проміжне реле *KV2*, яке вмикає соленоїд, що відкриває доступ рідини у циліндр підйому середнього вальця. Якщо задні вальці знаходились у верхньому положенні, то контакти кінцевого вимикача *SQ2* замкнені і при замиканні контактів *KV2* одержує живлення проміжне реле *KV5*, яке вмикає соленоїд на їх опускання. Коли вальці опущені, розмикаються контакти кінцевого вимикача *SQ2*, реле *KV5* втрачає живлення, соленоїд вимикається і опускання вальців закін-

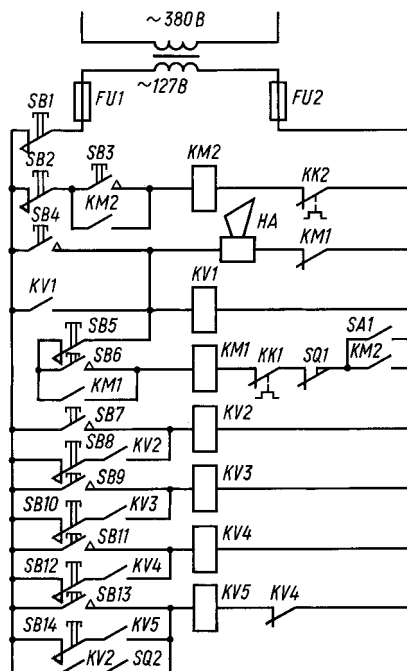


Рис. 10.3. Принципіальна електрична схема керування пилоравою з асинхронним короткозамкненим двигуном

чується. Кнопкою *SB9* подається команда на опускання передніх вальців, а кнопкою *SB11* — на підйом задніх вальців.

При розпилюванні деревини момент різання коливається в широких межах внаслідок наявності сучків, змінювання перерізу деревини тощо. Тому з метою вирівнювання навантажувальної діаграми та підвищення продуктивності праці

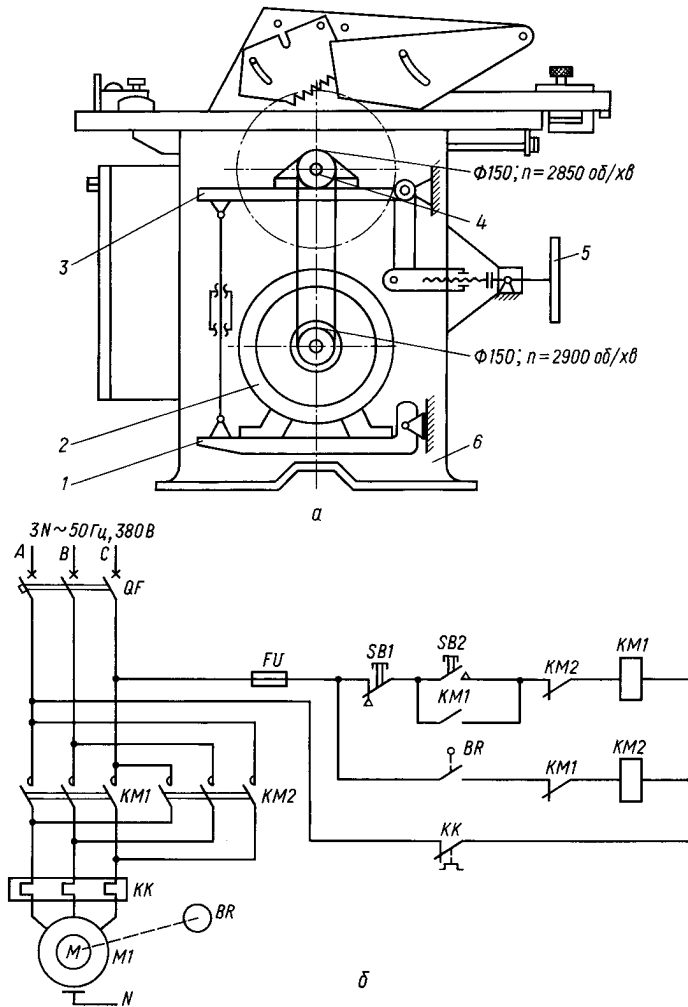


Рис. 10.4. Електропривід круглопилного верстата:

a — кінематична схема; *б* — принципіальна електрична схема; 1 — підмоторна плита; 2 — електродвигун; 3 — плита пилального вала; 4 — пилальний вал; 5 — ручний привод (маховик); 6 — станина

лісопилльні рами комплектують приводом, який автоматично змінює подачу деревини за умов змінювання навантаження. Контроль за завантаженням здійснює датчик струму, а виконавчим механізмом є двигун постійного струму. Зі збільшенням навантаження датчик струму дає сигнал на зменшення подачі, а зі зменшенням навантаження — на її збільшення.

Кінематичну схему круглопилного верстата наведено на рис. 10.4. Для привода пилки використовують електродвигун, який встановлено безпосередньо у верстаті. Обертання від електродвигуна за допомогою двох клинових пасів передається пиляльному валу 4. Електродвигун встановлено на плиті 1, шарнірно з'єднаний зі станиною та плитою 3 пиляльного вала. По висоті пиляльний вал пересувають за допомогою маховика 5. Одночасно з підніманням та опусканням плити пиляльного вала пересувається й підмоторна плита з електродвигуном. Тому відстань між шківками лишається постійною.

Керування круглопилним верстатом (рис. 10.4, б) здійснюється за допомогою кнопок *SB2* “Пуск” та *SB1* “Стоп”. Для швидкої зупинки верстата використовується гальмування противмиканням. При вмиканні електродвигуна, коли швидкість ротора зростає, замикаються контакти реле контролю швидкості *BR* і готують коло котушки магнітного пускача *KM2* до вмикання. При натисканні на кнопку *SB1* “Стоп” пускач *KM1* вимикається, його розмикаючі контакти *KM1* замикаються та одержує живлення котушка пускача *KM2*. Магнітне поле статора при цьому обертається в бік, протилежний обертання ротора. Ротор гальмується і, коли швидкість його знижується до нуля, контакти реле контролю швидкості *BR* розмикаються і двигун вимикається.

Схеми керування свердлильними, довбальними, фрезерними верстатами прості і тому не розглядаються.

Електричну схему керування плоскошліфувальним верстатом наведено на рис. 10.5. При роботі без електромагнітної плити вмикач *S3* розмикають, а вмикач *S1* замикають. Випрямляч *VD1 – VD4* та електромагніт *YA* електромагнітної плити живлення не одержують. При натисканні на кнопку *SB2* одержує живлення котушка магнітного пускача *KM1*, який вмикає електродвигуни шліфувального круга *M1* та гідронасоса *M2*. Електродвигун *M3* насоса, який подає охолодну рідину, вмикається через штепсельну розетку *XT*.

При роботі з електромагнітною плитою розмикають вмикач *S1*, а вмикачем *S2* вмикають випрямляч, через який одержують живлення електромагніт *YA* електромагнітної

кача *КМ2* одержує живлення і за допомогою головних контактів *КМ2* електродвигун вмикається в мережу. Пуск і зупинка електродвигуна *М3* привода насоса охолодної рідини здійснюється вмиканням та вимиканням тумблера *S2*. Електродвигуни *М3* та *М1* заблоковані і вмикання *М3* можливе тільки після замикання контактів пускача *КМ1*.

Для обмеження холостого ходу електродвигуна *М1* у схемі є реле часу *КТ*. У середньому (нейтральному) положенні рукоятки вмикання фрикційної муфти головного привода замикається замикаючий контакт кінцевого вимикача *SQ1* і вмикається реле часу *КТ*. Якщо тривалість холостого ходу перевищує встановлений час, то розмикаючі контакти реле часу *КТ* розмикають коло котушки магнітного пускача *КМ1* і електродвигун *М1* вимикається. Вмикання головного електродвигуна можливе у тому випадку, якщо закритий кожух змінних коліс і контакти кінцевого вимикача *SQ2* замкнені. Схемою передбачене вмикання тумблером *S1* лампи *НЛ1* для освітлення робочої зони верстата. Наявність напруги керування магнітних пускачів контролюється сигнальною лампою *НЛ2*. Від перенавантажень електродвигуни захищені тепловими реле *КК1*, *КК3*, *КК4*.

10.4. ВИБІР ТИПУ І ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ ОБКАТНИХ СТЕНДІВ

Після капітального ремонту двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) повинен пройти обкатку та здавально-приймальні випробування. На обкатних стендах виявляють різноманітні дефекти виготовлення та обробки деталей, а також складання як окремих вузлів, так і двигуна в цілому. У процесі обкатки відбувається припрацьовування деталей, які труться, що підвищує їх стійкість проти спрацювання.

На стендах ДВЗ піддають гарячій та холодній обкатці. Тривалість та інтенсивність обкатки визначається технічними умовами на ремонт ДВЗ.

Деякі вимоги до обкатки тракторних, автомобільних і комбайнових двигунів наведені у табл. 10.1.

На початку холодної обкатки момент опору за рахунок сил тертя становить 13 – 25 % номінального моменту ДВЗ. Наприкінці холодної обкатки момент опору знижується у 1,6 – 2 рази. При холодній обкатці двигун внутрішнього згоряння приводиться в дію від електродвигуна, при гарячій обкатці двигун внутрішнього згоряння обертає електродвигун, який є гальмом.

10.1. Вихідні дані і вимоги до обкатки ДВЗ

Показник	Одиниця виміру	Марка двигуна				
		СМД-60	Д-240	Д-21А1	ГАЗ-542-10	СМД-62
Потужність ДВЗ	кВт	115	76	18	92	100
Номинальна частота обертання	об/хв	2000	2200	1800	2800	2800
Тривалість холодної обкатки	хв	20	30	25	30	20
Тривалість гарячої обкатки без навантаження	хв	5	20	30	15	5
Тривалість гарячої обкатки з навантаженням	хв	50	80	60	80	50
Початкова швидкість при холодній обкатці	об/хв	400	500	800	600	400

Високоякісна обкатка ДВЗ відбувається у тому випадку, якщо швидкість при ній повільно збільшується. Мінімальна початкова швидкість 400 – 800 об/хв визначається нормальною роботою масляного насоса ДВЗ. Якщо швидкість ДВЗ буде меншою, масляний насос не забезпечить у системі необхідного тиску мастила і ДВЗ вийде з ладу.

Для якісної обкатки ДВЗ привід стенда повинен:

- мати достатній момент при зрушенні ДВЗ;
- плавно регулювати швидкість у режимі холодної обкатки від початкової швидкості до номінальної;
- відповідати умовам режиму гарячої обкатки, тобто плавно завантажувати ДВЗ до номінальної потужності за умов номінальної частоти обертання.

Вказані технологічні умови забезпечує асинхронний електродвигун з фазним ротором.

Оскільки номінальна частота обертання електродвигуна та двигуна внутрішнього згоряння не збігаються, між ними необхідно ставити редуктор. Для вимірювання моменту використана балансна система. Корпус електродвигуна змонтований на стояках з шарикопідшипниками і може повертатися у той чи інший бік залежно від напрямку моменту. Корпус електродвигуна з'єднується за допомогою важеля з ваговим механізмом маятникового типу, який вимірює сумарний момент електромагнітних та механічних сил, що виникають в електродвигуні, стрілка вказує на циферблаті зусилля F , H , яке розвивається гальмом. Стенд має також тахогенератор, за допомогою якого вимірюється частота обертання електродвигуна.

Якщо знати плече важеля, то можна визначити момент M , $\text{Н} \cdot \text{м}$, який розвиває двигун:

$$M = Fl, \quad (10.40)$$

де l — плече важеля, яке з'єднує корпус двигуна з ваговим механізмом, м .

Потужність стенда P , Вт , можна визначити за виразом

$$P = M\omega, \quad (10.41)$$

де ω — кутова швидкість ротора електродвигуна, $1/\text{с}$.

Для плавного регулювання швидкості електродвигуна використано рідинний резистор, який вмикається в коло обмотки ротора. Оскільки в процесі роботи розчин між електродами у рідинному резисторі значно нагрівається, то для рівномірного його нагрівання і охолодження по всьому об'єму бака використовують відцентровий насос, який переміщує рідину. Для сільськогосподарського виробництва обкатні стенди з двигунами з фазним ротором найбільш придатні порівняно зі стендами, що працюють за системою Г – Д з двигунами постійного струму, оскільки вони менш металоемні, простіші за будовою та обслуговуванням, надійніші в роботі і дешевші.

Для обкатки автотракторних двигунів розроблено багато типорозмірів стендів типу СТЭ і КИ потужністю від 4,5 до 250 кВт та синхронною частотою обертання 1000 – 1500 об/хв.

На цих стендах використовують електродвигуни типу АКБ спеціального виконання, які мають посилене кріплення обмоток ротора.

Обкатні стенди вибирають за двома параметрами: потужністю та частотою обертання.

Номінальну потужність електродвигуна стенда $P_{\text{нд}}$ вибирають, виходячи з умов забезпечення гальмівної потужності $P_{\text{н.двз}}$, яка розвивається двигуном внутрішнього згорання, що працює у режимі гарячої обкатки, тобто:

$$P_{\text{нд}} \geq P_{\text{н.двз}}.$$

На обкатних стендах використовують електродвигуни тривалого режиму роботи. При роботі в генераторному режимі потужність електродвигуна може бути збільшена на 30 – 40 % з таких причин:

- оскільки гаряча обкатка здійснюється при швидкості ротора вище синхронної, то тепловіддача двигуна зростає;

- потужність електродвигуна зростає пропорційно частоті обертання;

- при великих потужностях обкатку здійснюють короткочасно, тому електродвигун можна перевантажувати за струмом і потужністю;

- у генераторному режимі втрати в електродвигуні збільшують гальмівний момент.

Режим гарячої обкатки на стенді забезпечується тоді, коли обмотка статора залишається підключеною до мережі, а ротор двигуна обертається зі швидкістю вище синхронної на 100 – 150 об/хв.

10.5. РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ОБКАТНИХ СТЕНДІВ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГІЇ

Навантажувальна діаграма стенда, виходячи з технологічних вимог, які наведені у табл. 10.1, для двигуна СМД-60 має такий вигляд (рис. 10.7, а), а зміна швидкості ротора в процесі обкатки ДВЗ показана графіком (рис. 10.7, б).

У точці 1 здійснюється запуск стенда, при цьому забезпечується необхідна початкова швидкість для нормальної роботи масляного насоса. Слід відзначити, що з точки зору енергетики у початковий момент у коло ротора введено великий опір і наявні значні втрати енергії в рідинному резисторі. Протягом 20 хв частота обертання двигуна поступово збільшується, а за рахунок притирання поверхонь, що труться (вкладиші корінні та шатунні, поршні з кільцями, шестерні, втулки тощо), момент опору знижується. Через 20 хв після початку обкатки запускається двигун внутрішнього згоряння (точка 2) і працює протягом 5 хв на холостому ході без навантаження. У точці 3 подача палива до циліндрів починає зростати, зростає швидкість ДВЗ і ротора асинхронного двигуна. У точці 4, коли швидкість ротора стає більше синхронної, двигун внутрішнього зго-

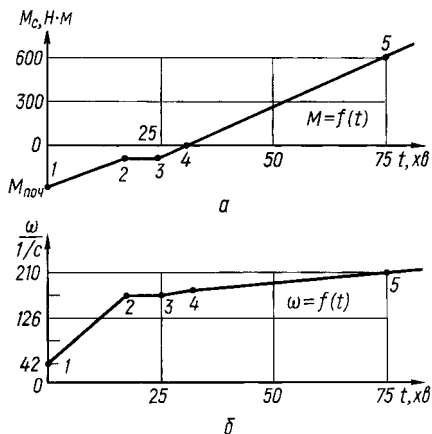


Рис. 10.7. Графік обкатки двигунів внутрішнього згоряння:

а — зміна моменту; б — зміна швидкості

рвання починає завантажуватися, а електродвигун переходить у генераторний режим, віддаючи енергію в мережу. Швидкість ротора зростає доти, поки ДВЗ не досягне номінальної швидкості.

Виходячи з навантажувальної діаграми стенда, можна наближено зробити оцінку щодо споживання та віддачі енергії в мережу. Як видно з діаграми, холодна обкатка триває вдвічі менше, ніж гаряча, причому холодна обкатка здійснюється при потужності, яка становить 15 – 20 % від номінальної потужності ДВЗ.

Механічні характеристики двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна у двигунному та генераторному режимах при різних опорах у колі ротора наведено на рис. 10.8. Оскільки основним моментом опору при обкатці є момент від сил тертя, то показник степеня для побудови механічної характеристики дорівнює нулю, і вона має вигляд прямої, незалежної від швидкості.

У початковий період пуску з метою забезпечення достатнього моменту під час зрушення ДВЗ у коло обмотки ротора необхідно ввести опір R_1 . Для нормального розгону слід дотримуватися умови, згідно з якою пусковий момент електро-

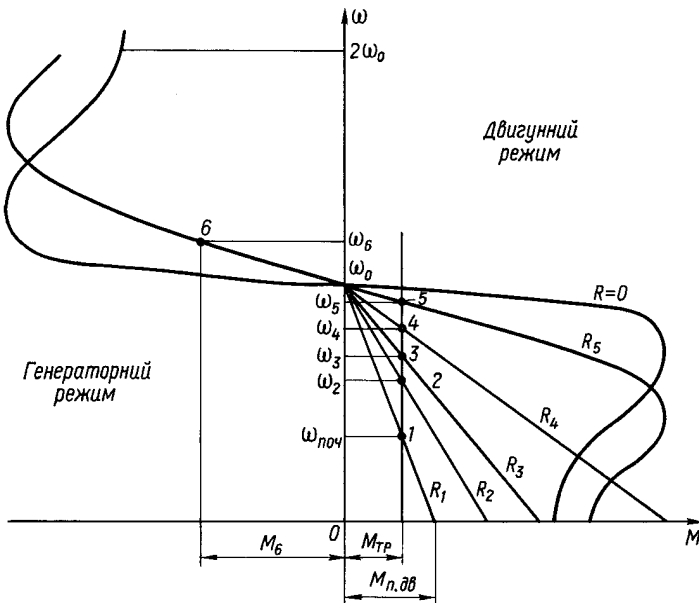


Рис. 10.8. Механічні характеристики двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна

двигуна $M_{п.дв}$ має бути більшим за момент зрушення ДВЗ $M_{тр.двз}$. При цьому точка перетину механічної характеристики ДВЗ повинна забезпечити початкову швидкість $\omega_{поч}$, яка відповідає початковій швидкості ДВЗ. Величина опору може бути розрахована теоретично або підібрана в практичний спосіб. Під час обкатки однотипних ДВЗ операторам відомо положення ножів рідинного резистора за відповідними позначками. Оскільки при опусканні ножів рідинного резистора опір змінюється плавно, то маємо ряд штучних механічних характеристик при опорах R_2, R_3, R_4, R_5 і відповідні їм швидкості $\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$. При обкатці ДВЗ на малих швидкостях при великих опорах рідинного резистора мають місце великі теплові втрати в резисторі, які нагрівають розчин. Рідинним резистором можна керувати вручну, регулюючи швидкість ступенями, або використовувати для привода ножів резистора електродвигун і плавно регулювати швидкість.

На стендах, як правило, після завершення холодної обкатки резистор повністю не виводиться з дії, і кінцеве положення визначається механічною характеристикою гальмування ДВЗ у режимі генераторного гальмування. Швидкість обертання ротора ω_6 повинна забезпечити номінальну швидкість обертання двигуна внутрішнього згоряння, а навантажувальний момент M_6 — становити 90 – 95 % від номінального моменту ДВЗ. Таким чином, точка 6 визначається паспортними даними, а точка 5 — графічною побудовою. Для цього проводять пряму через точку 6 та ω_6 до перетину з механічною характеристикою стенда. Швидкість електродвигуна буде збільшуватися за рахунок зменшення опору рідинного резистора до точки 5 . У точці 5 двигун внутрішнього згоряння заведеться, швидкість його зросте до синхронної і від швидкості ω_0 до ω_6 електродвигун працюватиме в генераторному режимі з віддачею енергії в мережу. У точці 6 подача пального припиниться і обкатка двигуна внутрішнього згоряння закінчиться.

При холодній обкатці ДВЗ, коли електродвигун працює в двигунному режимі, електрична енергія, яка споживається з мережі, поділяється на три частини: одна частина витрачається на подолання опору двигуна, що обкатується, друга надходить до регульовального резистора, а третя витрачається безпосередньо в електричній машині. Кількість електричної енергії A_1 , кВт · год, яка споживається з мережі при холодній обкатці двигуна, визначається за формулою

$$A_1 = \frac{M_x \omega_{\text{дх}} t_x 10^{-3}}{\eta_{\text{д}}}, \quad (10.42)$$

де M_x — момент електродвигуна при холодній обкатці ДВЗ, Н · м; $\omega_{\text{дх}}$ — кутова швидкість двигуна при холодній обкатці, рад/с; t_x — тривалість холодної обкатки, год; $\eta_{\text{д}}$ — ККД двигуна.

Кількість електричної енергії A_2 , кВт · год, яка повертається до мережі в умовах гарячої обкатки ДВЗ з навантаженням, визначається за формулою

$$A_2 = M_{\Gamma} \omega_{\text{дг}} t_{\Gamma} \eta_{\text{дг}} 10^{-3}, \quad (10.43)$$

де M_{Γ} — момент електродвигуна при гарячій обкатці ДВЗ, Н · м; $\omega_{\text{дг}}$ — кутова швидкість при гарячій обкатці ДВЗ, рад/с; t_{Γ} — тривалість гарячої обкатки ДВЗ під навантаженням, год; $\eta_{\text{дг}}$ — ККД електродвигуна при роботі в генераторному режимі за умов даного моменту опору та відповідної кутової швидкості.

Практичний інтерес має ступінь використання енергії, що споживається з мережі і виробляється двигуном, що обкатується, яка оцінюється коефіцієнтом рекуперації:

$$\eta_{\text{р}} = \frac{A_2}{A_1}. \quad (10.44)$$

Найекономічніша робота асинхронного двигуна як за умов холодної, так і гарячої обкатки під навантаженням відбувається при мінімальному опорі в колі обмотки ротора. Якщо при холодній обкатці ДВЗ регулювання швидкості шляхом введення регулювального резистора обов'язкове, то при гарячій обкатці регулювання доцільно здійснювати за механічною характеристикою, близькою до природної, а навантаження під час обкатки збільшувати за рахунок збільшення швидкості двигуна, який обкатується.

У реальних умовах кількість електроенергії, що споживається від мережі і віддається до неї при обкатці двигунів, визначають за допомогою лічильника. При холодній обкатці двигунів він лічить витрату енергії з мережі, а при гарячій — повернення її до мережі. У першому випадку диск лі-

чильника обертається у прямому напрямку, у другому — у зворотному, і покази лічильника зменшуються. Знаючи покази лічильників, визначають коефіцієнт рекуперації.

Електричну схему керування стендом типу КИ з електродвигуном АКБ наведено на рис. 10.9.

Для привода двигуна внутрішнього згоряння використовують електродвигун *M1* з фазним ротором, для насоса, що переміщує рідину в резисторі — асинхронний електродвигун *M2* з короткозамкненим ротором, для рідинного резистора і подачі пального — виконавчі механізми типу ВМ-2-120 з двигунами *M3* і *M4* відповідно.

Керування електроприводом стенда здійснюється так. Автоматичним вимикачем *QF* подають напругу, при цьому загоряється сигнальна лампа *HL1*. Коли електроди резистора знаходяться у верхньому положенні, а рейка привода тяги подачі пального в положенні “Закрито”, замикаючі контакти кінцевих вимикачів *SQ1* і *SQ3* замкнені і загоряється сигнальна лампа *HL2*. В інших положеннях указаних механізмів через замкнені розмикаючі контакти вимикачів *SQ1* і *SQ3* вмикаються електродвигуни *M3* і *M4* і встановлюють механізми у вихідне положення.

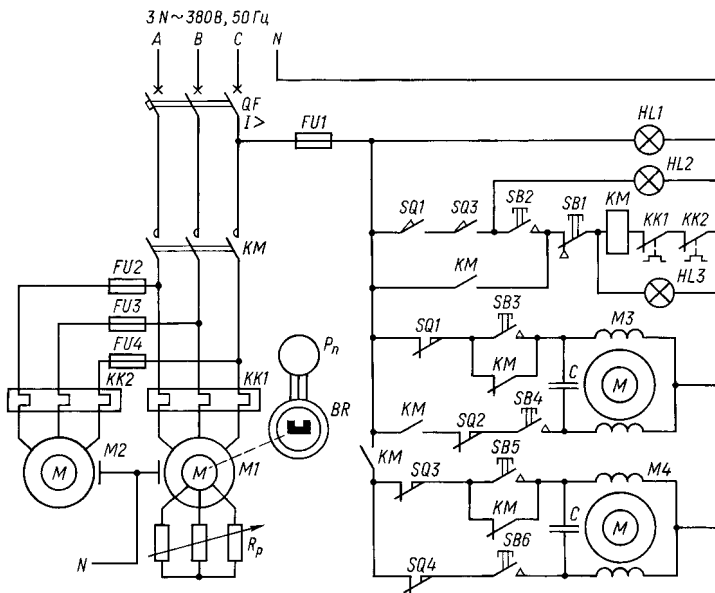


Рис. 10.9. Принципіальна електрична схема керування обкатно-гальмівним стендом

Для пуску привода натискають на кнопку *SB2*. Магнітний пускач *KM* вмикає в мережу двигун *M1* привода ДВЗ і двигун *M2* привода насоса-мішалки. Загоряється сигнальна лампа *HL3*. Замикаючі допоміжні контакти пускача *KM* готують до роботи кола керування двигунами *M3* і *M4*.

Натисканням на кнопку *SB4* вмикають двигун *M3* привода електродів резистора на опускання. Останні занурюються в електроліт, опір резистора зменшується, і двигун *M1* починає плавно обертатися. Сигнальна лампа *HL2* гасне. Після відпускання кнопки *SB4* двигун *M3* зупиняється.

У початковий період обкатки електроди повинні бути занурені в електроліт настільки, щоб спочатку було забезпечено необхідний пусковий момент для зрушення ДВЗ, а потім — мінімальну швидкість обертання його згідно з технологічними вимогами. Поступовим введенням електродів зменшують опір резистора і доводять частоту обертання електродвигуна до номінальної. При повному зануренні електродів розмикається контакт кінцевого вимикача *SQ2* і двигун *M3* зупиняється.

Принцип роботи схеми керування двигуном *M4* привода тяги подачі пального аналогічний.

Щоб швидко зупинити двигуни *M1* і *M2* стенда, натискають на кнопку *SB1*. При цьому вимикаються з мережі двигуни *M1* і *M2*, знімається живлення з кола керування двигуном *M4*. Через розмикаючий контакт *KM*, що замкнувся, вмикається двигун *M3* привода електродів резистора і працює доти, поки електроди не досягнуть крайнього верхнього положення і не розімкнуться контакт *SQ1*.

Для уповільнення зупинки двигунів стенда натискають на кнопку *SB3* і утримують її в замкненому стані, доки на пульті керування не загориться сигнальна лампа *HL2*. Після цього натисканням на кнопку *SB1* вимикають двигуни з мережі. Уповільнений спосіб зупинки кращий, оскільки запобігаються небажані коливання електродвигуна і вагового механізму стенда.

Для переведення стенда в режим гарячої обкатки ДВЗ вручну або двигуном *M4* переміщують тягу подачі пального. При цьому двигун *M4* вмикають кнопкою *SB6*. За рахунок збільшення подачі пального швидкість обертання ДВЗ зростає і асинхронний двигун переходить у режим рекуперативного гальмування. У кінцевому положенні тяги вимикач *SQ4* вмикає двигун *M4*.

Захист від коротких замикань здійснюють автоматичний вимикач *QF* і плавкі запобіжники *FU1* – *FU4*. Двигуни *M1* і *M2* від перевантажень захищають реле *KK1* і *KK2*.

11. ЕЛЕКТРОПРИВІД ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ

11.1. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ У РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Для комплексної механізації та електрифікації різних технологічних процесів практично в усіх галузях сільськогосподарського виробництва використовується система машин. Це сукупність різних робочих машин, механізмів та апаратів, які зв'язані між собою згідно з продуктивністю, швидкістю руху й тривалістю дії для завершеного технологічного або виробничого циклу. При цьому через механізми зв'язку одна машина задає роботу іншій і таким чином забезпечується потоковість виробництва, умови його автоматизації і безпеки експлуатації. Система машин забезпечує найкраще використання коштів, впровадження інтенсивних технологій виробництва продукції тваринництва, різке підвищення продуктивності праці, економію паливно-енергетичних ресурсів, поліпшує умови праці.

Ручне керування машинами, які працюють у потоці, малоефективне: обслуговуючий персонал не в змозі своєчасно реагувати на роботу кожної з них. Автоматизація контролю і керування технологічним процесом є обов'язковою умовою підвищення ефективності використання машин.

Однак концентрація машин і устаткування, їх розміщення, взаємозв'язок і певна послідовність їх роботи, яка зумовлює введення централізації та автоматизації керування, разом з тим ставить нові вимоги до електропривода та електропостачання.

Схеми автоматичного керування електроприводами поточкових ліній включають керування кількома двигунами (кількість їх може бути більше десяти), тому можливі різні схеми пуску. Найпростіша з них — одночасний пуск 2 – 4 двигунів. Це стосується, як правило, двигунів невеликої потужності. За умов одночасного пуску пусковий струм визначається сумою пускових струмів окремих електродвигунів. Найраціональнішим для групи двигунів невеликої потужності є лавинний пуск. Вмикання двигунів відбувається послідовно з витримкою часу спрацьовування магнітного пускача, який вмикає кожний наступний двигун. У цьому випадку пусковий струм знижується порівняно з одночасним пуском на 15 – 20 %. За наявності значної кількості електро-

двигунів пуск здійснюється з витримкою часу, яка дорівнює або більше часу розгону попереднього електродвигуна. Витримка часу або обирається оператором інтуїтивно, або у ланцюзі керування монтуються відповідні реле часу. Можливі схеми пуску наведені на рис. 11.1.

При розробці схем централізованого керування багатодвигунним електроприводом потокової лінії враховують такі умови:

1. При налагоджувальних та ремонтних роботах передбачають деблокування, яке забезпечує можливість незалежного вмикання окремих електродвигунів.

2. Перед пуском електродвигунів вмикають звукову аварійну сигналізацію.

3. Для контролю за роботою машин або при їх аварійній зупинці передбачають світлову сигналізацію.

4. Щоб уникнути завалу машин продуктом, централізований пуск двигунів машин здійснюють у певній послідовності назустріч потоку продукту, а зупинку — у напрямку руху продукту.

5. За умов аварійної зупинки однієї з машин потокової лінії повинні зупинитися всі машини, які завантажували ту, що вийшла з ладу. Машини, які її розвантажують, повинні працювати протягом часу, необхідного для виходу усієї продукції.

6. Зупинку потокової лінії починають з головного механізму. Під час пуску цей механізм вмикають останнім.

7. Для захисту всієї потокової лінії від роботи на холостому ходу у випадку зависання продукту в проміжних міст-

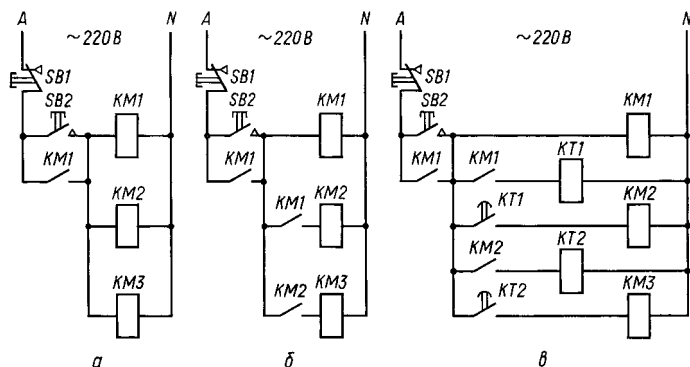


Рис. 11.1. Схема пуску електродвигунів у потоковій лінії:

a — одночасний пуск; *б* — лавинний пуск; *в* — пуск з витримкою часу

костях або його відсутності у схемах передбачають реле потоку, яке контролює рух продукту.

8. З метою сталої роботи потокової лінії виконують перевірку на допустиме зниження напруги при одночасному вмиканні кількох двигунів потокової лінії або ж одного двигуна значної потужності. При великому зниженні напруги працюючі двигуни можуть зупинитися, а ті, що запускаються, можуть не розкрутитися.

9. При проектуванні схеми керування доцільно використовувати однотипну апаратуру.

10. При розміщенні устаткування слід враховувати ступінь його захисту від впливу шкідливих факторів.

Розглянемо ці вимоги на прикладі електропривода малогабаритної комбікормової установки УМК-Ф-2, на якій використовують 14 електродвигунів з сумарною потужністю 29,9 кВт. Потужність найбільшого електродвигуна привода дробарки — 15 кВт.

Електроустаткування установки забезпечує:

- керування установкою в двох режимах — налагоджувальному та автоматичному, аварійну зупинку;
- передпускову звукову сигналізацію;
- керування в автоматичному режимі двома лініями — подрібнення і завантаження;
- керування системою аспірації;
- автоматичне встановлення засувки залежно від обраної під завантаження секції наддозаторного бункера;
- блокування, яке передбачає за умов зупинки однієї з машин зупинку попередніх;
- звільнення лінії подрібнення від залишків продукту при зупинці;
- зупинку лінії завантаження при завантаженні обраної секції бункера-нагромаджувача або бункера білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВД);
- світлову сигналізацію роботи машин;
- сигналізацію завантаження бункерів та їх секцій продуктом;
- безступінчасте регулювання швидкості двигуна механізму дозування в діапазоні 50 – 70 об/хв;
- блокування пуску двигунів установки за умов відкритої камери дробарки;
- захист всього електрообладнання від струмів короткого замикання та перевантажень.

11.2. ЕЛЕКТРОПРИВІД МАЛОГАБАРИТНОЇ КОМБІКОРМОВОЇ УСТАНОВКИ УМК-Ф-2

Установка УМК-Ф-2 призначена для виготовлення розсипних комбікормів із зерна та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВД) промислового виробництва в умовах тваринницьких ферм. Вони розміщуються в закритих приміщеннях, які оснащені механізованою подачею вихідної сировини, наприклад норією. Вихідні компоненти, які надходять на переробку, повинні мати вологість не більше 13 %. Вихідна зернова сировина зсипається до вивантажувальної ями транспортними засобами і норією (рис. 11.2) через сепаратор 3 і магнітну колонку 4, подається до розподільного конвеєра 5. У сепараторі вихідна сировина очищується від великих включень, а в магнітній колонці — від металомігнітних. Конвеєром 5 вихідний матеріал подається до бункера оперативного запасу сировини 7, секції з відкритою над нею засувкою 6. Подавання матеріалу припиняється після надходження сигналу від відповідного датчика верхнього рівня завантаження 15. Причому компонент, який має найбільший продукт у рецепті, завантажується до секції бункера над до-

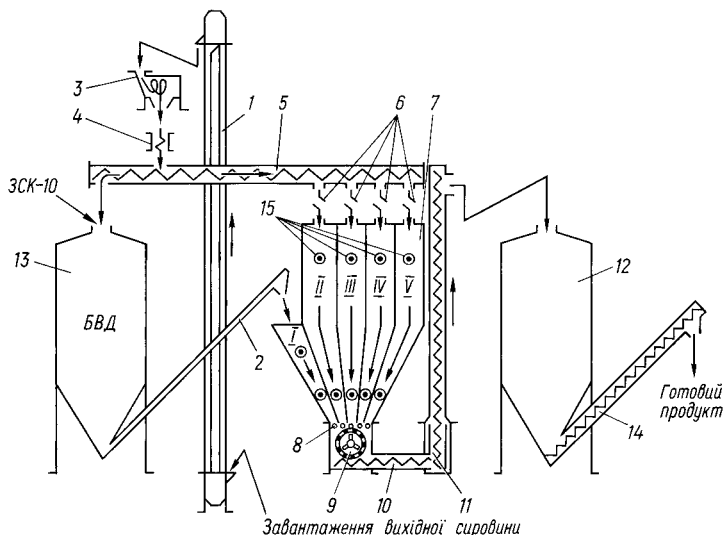


Рис. 11.2. Технологічна схема малогабаритної комбікормової установки:
1 — норія; 2 — живильник; 3 — сепаратор; 4 — магнітна колонка; 5 — розподільний конвеєр; 6 — засувки; 7 — запасні бункери; 8 — механізм дозування; 9 — дробарка; 10 — гвинтовий конвеєр; 11 — змішувач; 12 — бункер готового продукту (нагромаджувач); 13 — бункер для білково-вітамінно-мінеральних добавок; 14 — вивантажувальний конвеєр; 15 — датчики рівня; I — IV — дозатори

затором II (зерновий), а компоненти, що не потребують подрібнення, включаючи й БВД, у секції бункера над дозаторами I і V.

БВД завантажуються до бункера 13 завантажувачем сухих кормів ЗСК-10 або через завантажувальну яму (норію 1), сепаратор 3 з магнітною колонкою 4 та розподільний конвеєр 5.

Контроль рівня завантаження бункера 13 і бункера 7 здійснюється за допомогою датчиків верхнього і нижнього рівнів 15, інформацію від яких виведено на сигнальні лампочки шафи керування.

Бункер 13 оснащено шнековим живильником 2 для подавання вихідних БВД до крайньої укороченої секції I бункера 7.

Вихідні компоненти механізмами дозування 8 подаються для подрібнення до дробарки 9, а компоненти, які не потребують подрібнення, спеціальними перехідними клапанами надходять до розподільного конвеєра 5 без подрібнення.

Подрібнений продукт разом із компонентами, які не слід подрібнювати, потрапляє до горизонтального гвинтового конвеєра 10 і вертикального конвеєра. Змішувач 11 змішує та пересіває готовий продукт до бункера-нагромаджувача 12, звідки відвантажується до транспортних засобів споживача.

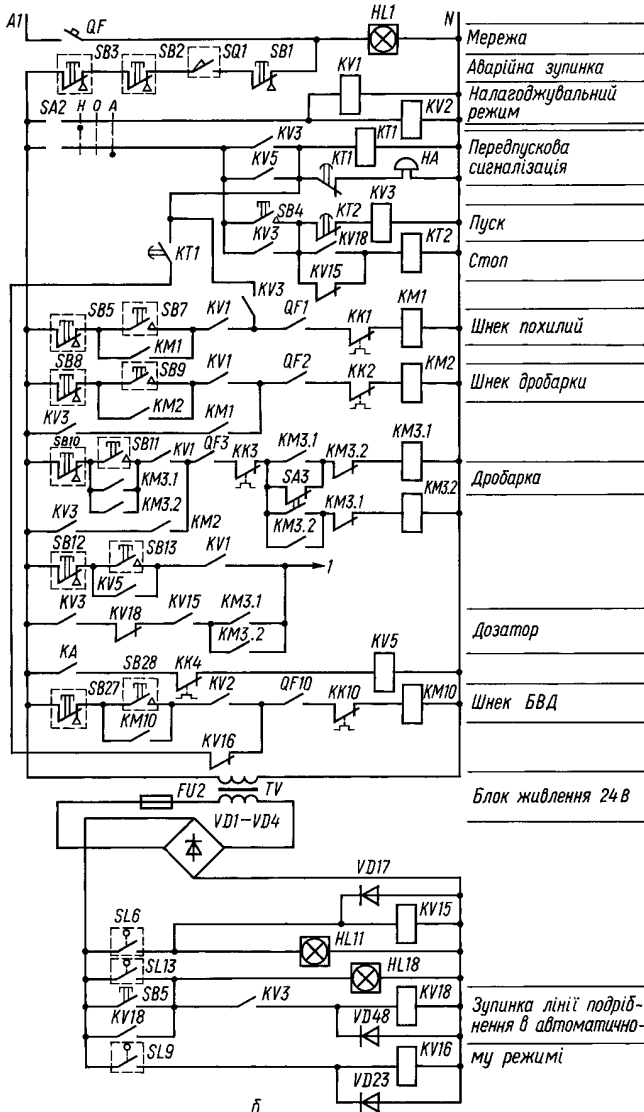
Перед початком роботи на дробильну камеру замість передньої кришки встановлюється спеціальний лотік, за допомогою якого здійснюється тарування подачі шнеків дозаторів. Після тарування кришку встановлюють на попереднє місце.

Принципальну електричну схему керування приводами комбікормової установки наведено на рис. 11.3. Схема забезпечує два режими роботи: налагоджувальний та автоматичний. Вибір режиму роботи здійснюється перемикачем SA2, який має три положення: “Налагодження”, “Вимкнено”, “Автомат”.

У налагоджувальному режимі здійснюється незалежне вмикання кожного механізму окремо під час монтажу, обкатки або обслуговування. Для роботи у налагоджувальному режимі перемикач режиму роботи SA2 встановлюють у положення “Налагоджування”. При подаванні напруги до шафи керування вимикачем QS вмикаються реле KV1 та KV2, які своїми контактами готують коло керування до роботи у налагоджувальному режимі. Почерговим натисканням кнопок SB7, SB9, SB11, SB13, SB17, SB20, SB22, SB24, SB26, SB30, SB33, SB34, SB36, SB37 одержують живлення котушки відповідних магнітних пускачів та реле, які вмикають електродвигуни. Кнопками SB6, SB8, SB10, SB12, SB16,

Схема автоматичного керування забезпечує роздільну роботу лінії подрібнення зерна та лінії завантаження. При необхідності обидві лінії в змозі працювати спільно. Схему силової мережі лінії подрібнення наведено на рис. 11.3, а.

Лінія подрібнення продукту працює так.



При натисканні пускової установки *SB4* вмикається реле *KV3*, контакти якого блокують пускову кнопку і готують мережі автоматичного керування до роботи. Одночасно з реле *KV3* одержує живлення котушка реле часу *KT1* і сирена *HA*, що видає передпусковий звуковий сигнал. Через 10 с розмикаючі контакти реле часу *KT1* вимикають сирену *HA*, а замикаючі — вмикають пускач *KM1* і *KM10*. Замикаючими контактами пускача *KM1* вмикається пускач *KM2*, контактами *KM2* вмикається *KM3.1* або *KM3.2* залежно від положення перемикача *SA3*. При спрацюванні магнітних пускачів *KM3.1* або *KM3.2* їх замикаючі контакти вмикають струмове реле *KA*, а воно у свою чергу вмикає реле *KV5*. При спрацюванні вказаних пускачів та реле вмикаються електродвигуни *M1* – *M4* та *M10* (похилий шнек, шнек дробарки, дробарка, дозатор, шнек БВД). Блок керування *A* автоматично встановлює подачу дозатора таким чином, щоб електродвигун дробарки був завантажений оптимально. Обсяг завантаження контролюється за приладом *PA*.

Датчики верхнього рівня секцій піддозаторного бункера, бункера БВД, бункера готової продукції і датчики нижнього рівня сигналізують про наявність продукту. Контроль рівня продукту здійснюється лампочками, які знаходяться на мнемосхемі шафи керування.

За відсутністю основного компонента, який знаходиться у секції № 2 наддозаторного бункера, датчик *SL6* вмикає реле *KV15*, яке своїми контактами вимикає мережу керування дозатора, припиняючи подавання компонентів до дробарки. Одночасно розмикаючі контакти *KV15*, замикаючись, вмикають реле часу *KT2*. Через 20 с, тобто час, необхідний для очищення лінії подрібнення від продукту, реле часу *KT2* розмикаючими контактами знеструмлює котушку реле *KV3*, яке вимикає всю лінію подрібнення. Аналогічно зупинка лінії відбувається при наповненні бункера готового продукту. Сигнал від датчика верхнього рівня *SL13* вмикає реле *KV18*, замикаючі контакти вмикають реле *KT2* і відключення лінії відбувається аналогічно описаному вище.

Лінію подрібнення можна зупинити кнопкою *SB5*. При натисканні на неї реле *KV18* вмикається, стає на самоблокування, замикаючими контактами вмикає реле часу *KT2* і вимикає дозатор. Через 20 с реле часу вимикає лінію.

Принципальну електричну схему блока автоматики наведено на рис. 11.4.

У режимі налагодження резистор RP задає напругу, яка керує роботою пропорційно-інтегрального підсилювача на мікросхемі ДА2. Підсилювач ДА2 виробляє імпульси напруги, які через транзистор $VT1$ заряджають конденсатор $C10$ і керують роботою генератора на транзисторі $VT2$. Транзистор

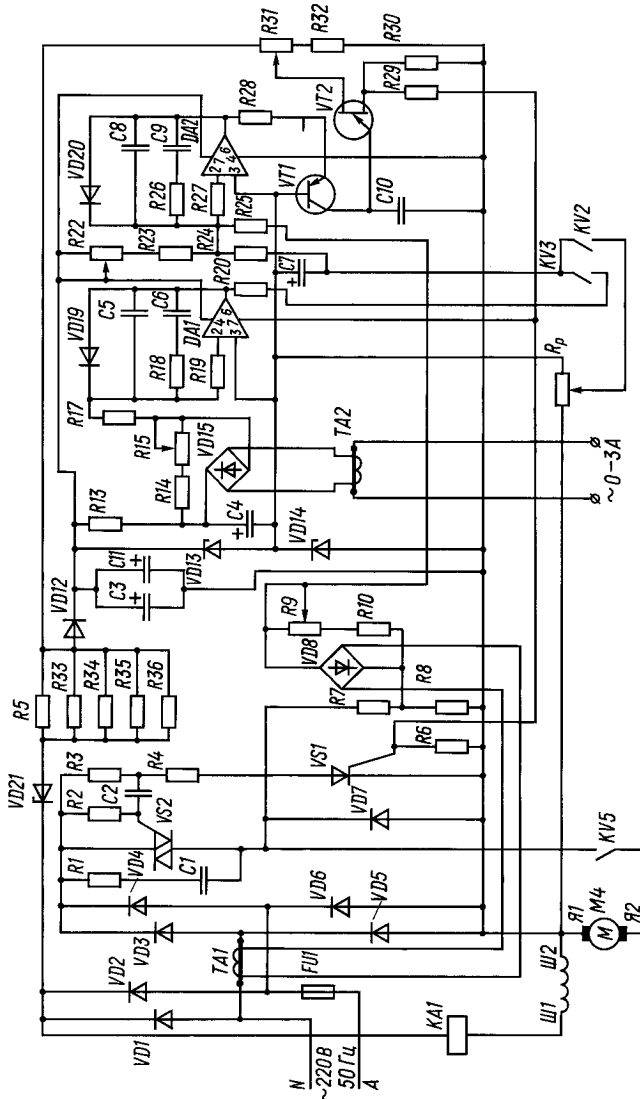


Рис. 11.4. Принципіальна електрична схема блока керування завантаженням

періодично вмикає тиристори $VS1$ та $VS2$. Залежно від часу вмикання тиристора $VS2$, який є пропорційним опором резистора RP , змінюється середнє значення напруги, яка подається на якір електродвигуна постійного струму $M4$, і відбувається зміна частоти обертання двигуна.

Для забезпечення необхідної стабільності частоти обертання двигуна введено негативний зворотний зв'язок за електрорушійною силою якоря. Напруга, пропорційна е. р. с. якоря, знімається з резистора $R8$ і підсумовується з напругою на резисторах $R9$ та $R10$, яка пропорційна струму двигуна. Одержана напруга подається на вхід мікросхеми $DA2$ й створює негативний зворотний зв'язок.

У режимі "Автомат" вхід підсилювача $DA2$ з'єднується з виходом підсилювача $DA1$, який має пропорційно-інтегральну характеристику.

Трансформатор струму $TA2$ видає напругу, пропорційну струму електродвигуна дробарки. Одержана напруга випрямляється, подається на вхід підсилювача $DA1$. Таким чином, середня напруга, яка подається на якір двигуна $M4$, є залежною від струму, споживаного електродвигуном дробарки, що дозволяє керувати обсягом завантаження дробарки.

11.3. ЕЛЕКТРОПРИВІД КОРМОРОЗДАВАЧА РКА-2000

Кормороздавач РКА-2000 використовується для роздавання гранульованих кормів. Згідно з технологією (рис. 11.5, *a*) корм з бункера-сховища 1 похилим шнеком 6 та горизонтальним транспортером 3 подається до проміжних бункерів 7 . Штанги з шайбами здійснюють зворотно-поступальний рух на відстань $0,44$ м і переміщують корм від проміжних бункерів в обидва боки.

Електрична схема (рис. 11.5, *б*) забезпечує ручне та автоматичне керування роздаванням кормів. Ручне керування здійснюється встановленням перемикачів $SA3$, $SA5$, $SA7$ у положення "Ручне".

При автоматичному керуванні вказані перемикачі необхідно встановити у положення "Автоматичне". У цьому випадку команди на вмикання та вимикання подаються двоцпрограчним реле часу KT .

Перша програма $KT.1$ подає живлення на проміжне реле $KL7$, яке своїми замикаючими контактами вмикає через пускач $KM5$ освітлення свинарника.

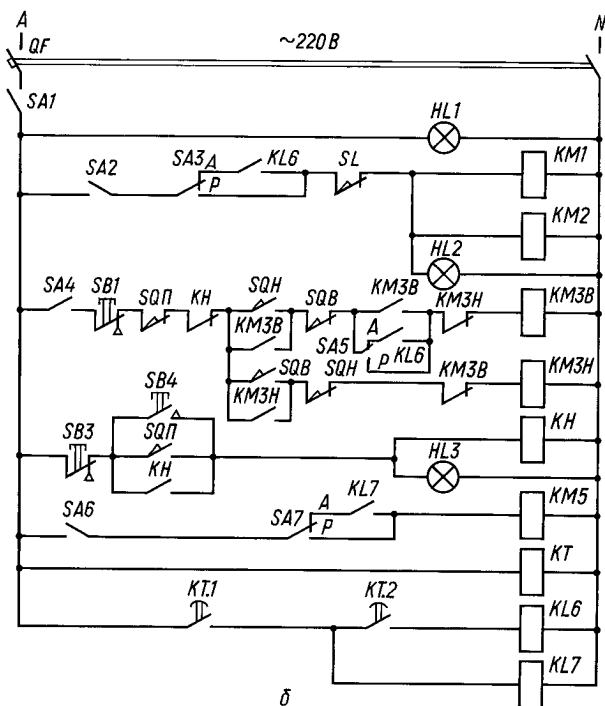
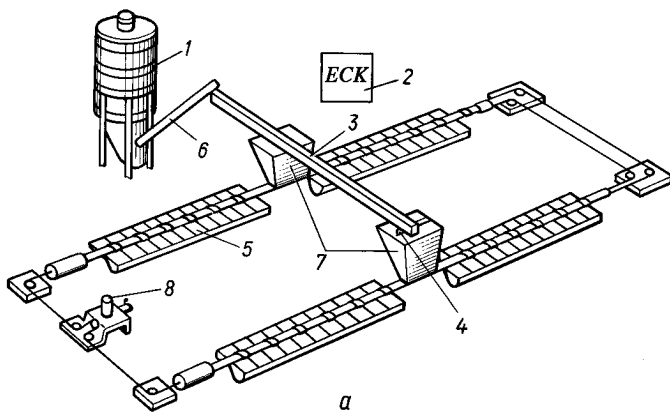


Рис. 11.5. Электропривід кормороздавача РКА-2000:

a — технологічна схема: 1 — бункер-сховище; 2 — електрична станція керування; 3 — горизонтальний транспортер; 4 — датчик рівня; 5 — кормороздавач; 6 — шнек; 7 — проміжні бункери; 8 — натяжний пристрій; *б* — принципіальна електрична схема керування

Контактами *КТ.2* згідно з другою програмою подається живлення на проміжне реле *КЛ6*, замикаючи контакти якого вмикають мережі котушок магнітних пускачів *КМ1*, *КМ2*, *КМ3*. Указані пускачі вмикають відповідно електродвигуни шнека *М1*, скребкового транспортера *М2* та кормороздавача *М3*. Коли проміжні бункери *7* будуть повністю заповнені кормом, розмикаються контакти датчика рівня *SL*, котушки пускачів *КМ1* та *КМ2* втрачають живлення й електродвигуни *М1* та *М2* зупиняються. Реверсивний привід двигуна *М3* здійснює зворотно-поступальний рух штанг. У крайніх положеннях команду на зміну напрямку обертання електродвигуна дають кінцеві вимикачі *SQH* та *SQB*.

Тривалість роботи визначається часом замкненого стану контактів програмного реле часу *КТ2*. За умов перевантаження мережі штанги спрацьовує кінцевий вимикач перевантаження і двигун *М3* привода кормороздавача вимикається, спрацьовує аварійне реле *КН* і загоряється сигнальна лампа *HL3*.

Автоматизований привід кормороздавача дає можливість роздавати корм згідно з заданою програмою у кілька прийомів малими дозами, що дає змогу значно підвищити приріст тварин.

11.4. ЕЛЕКТРОПРИВІД ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ НА ПТАХОФЕРМАХ

Для комплексної механізації та часткової автоматизації виробничих процесів у великих птахівницьких господарствах для утримання курей-несучок широко використовуються комплекти устаткування на базі одно- та багатоярусних кліткових батарей. Вони складаються з окремих уніфікованих машин і пристроїв, які забезпечують роздавання корму, подавання питної води, збирання яєць, прибирання та видалення посліду. Комплекти відрізняються якістю і компонованням складових частин.

Технологічну схему роздавання корму у багатоярусних кліткових батареях типу *КБН* наведено на рис. 11.6. Сухий корм до пташників підвозять спеціальним автокормовозом-завантажувачем і заповнюють бункер типу *БСК-10* для зберігання сухих кормів. Похилим шнековим транспортером *2* і горизонтальним поперечним транспортером *3* корм подається до приймальних бункерів навісних кормороздавачів двобічної дії, і після заповнення усіх приймальних бункерів привід похилого шнека та горизонтального транспортера зупиняєть-

холостий хід. У кінці пташника встановлено транспортер, який видаляє послід за межі будівлі з одночасним завантаженням у транспортні засоби.

Електрична схема керування роздаванням корму і прибиранням посліду (рис. 11.6, б) може працювати у ручному та автоматичному режимах. У ручному режимі керування електродвигунами $M1$, $M2$, $M3$ відбувається за допомогою натискання відповідних кнопок “Пуск” та “Стоп” ($SB1$, $SB2B$, $SB2H$, $SB3$).

При автоматичному керуванні вмикання роздавача здійснюється програмним реле часу KT . У вихідному положенні кормороздавачів А, Б, В, Г замкнені контакти кінцевих вимикачів $SQ4$, $SQ5$, $SQ6$, $SQ7$. Якщо приймальні бункери останнього роздавача не заповнені кормом, то контакти фотореле BL замкнені і котушка магнітного пускача $KM3$ одержує живлення і вмикає двигун $M3$ горизонтального скребкового транспортера 3. Одночасно замикаючі контакти $KM3$ подають напругу на котушку пускача $KM2$, який вмикає двигун $M2$ привода похилого шнекового транспортера.

При роботі завантажувальної лінії йде почергове заповнення бункерів кормороздавачів, починаючи з першого. Після заповнення останньої секції останнього бункера 1 розмикаються контакти фотореле BL і двигуни $M2$ та $M3$ зупиняються.

У визначений час контакти програмного реле часу KT замикаються, вмикається проміжне реле $K1$. Замикаючі контакти $K1$ подають напругу на котушку магнітних пускачів $KM1B$ ($KM2B$, $KM3B$, $KM4B$), які вмикають електродвигуни $M1A$ ($M1B$, $M1B$, $M1Г$) навісних роздавачів, і всі роздавачі починають переміщуватися вздовж пташника і роздавати корм.

На електричній схемі наведено електродвигун $M1$ кормороздавача А. Аналогічно йде керування роздавачами Б, В, Г.

Одночасно з роздаванням корму йде прибирання посліду. Коли роздавач доходить до кінця приміщення, упори скребків четвертих ярусів натискають на кінцеві вимикачі $SQ1$, $SQ3$, $SQ5$, $SQ7$ і привід реверсується.

При зворотному русі роздавання кормів у годівниці триває. У вихідному положенні упори скребків третього ярусу натискають на кінцеві вимикачі $SQ2$, $SQ4$, $SQ6$, $SQ8$, кормороздавачі вимикаються підготовленими до наступного завантаження.

11.5. НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ

Однією з найважливіших вимог до системи автоматизації технологічних процесів потокової лінії є надійність роботи устаткування, до елементів якої належать:

- строк служби устаткування;
- надійність та можливість безвідмовної роботи.

Заводи-виготовлювачі електричного устаткування сільськогосподарського призначення гарантують строк служби устаткування не менше двох років, але не більше 2,5 з дня його відвантаження за умов дотримання умов експлуатації.

Імовірність безвідмовної роботи автоматизованої системи керування залежить від надійності вхідних елементів і визначається за формулою

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i k t}, \quad (11.1)$$

де λ_i — інтенсивність відмов кожного елемента; k — поправочний коефіцієнт, який враховує вплив навколишнього середовища, $k = 10 - 15$ для стаціонарних наземних пристроїв; t — час роботи схеми, год.

Час безвідмовної роботи схеми визначається за формулою

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (11.2)$$

де $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ — сумарна інтенсивність відмов окремих елементів.

Як вихідні дані при використанні методу розрахунку за інтенсивністю відмов використовують принципіальну електричну схему керування потоковою лінією, агрегатом, установкою, дані про кількість та типи комплектуючих елементів та інтенсивність їх відмов. Згідно з довідковими даними для всіх елементів, що використовуються, знаходять значення інтенсивностей відмов.

У процесі виробництва та експлуатації на засоби і системи автоматичного керування діє багато факторів, які впливають на їх надійність. Це експлуатаційні фактори, які визначають режим та умови експлуатації та устаткування, засобів та систем автоматики. Від 30 до 40 % відказів відбувається в процесі експлуатації внаслідок помилок обслуговуючого пер-

соналу і порушення умов експлуатації. При експлуатації пристроїв керування необхідно особливо увагу приділяти умовам навколишнього середовища. Підвищена вологість, низькі температури, хімічно активне середовище, запиленість та інші фактори значно знижують надійність роботи устаткування. Тому все устаткування повинно експлуатуватись згідно з кліматичними умовами і категоріями приміщень, а для шаф, станцій керування тощо має бути передбачена можливість захисту від впливу шкідливих факторів. Як правило, станції керування розміщують в окремих приміщеннях, де підтримується оптимальна температура та вологість. У деяких випадках всередині шафи керування встановлюють нагрівальні елементи (ТЕНи), які автоматично вмикаються відповідними датчиками. Іноді доцільно встановлювати шафи керування на відкритому повітрі поза приміщеннями внаслідок агресивності середовища.

12. МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

12.1. ВИМІРЮВАЛЬНА АПАРАТУРА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Основні енергетичні показники електроприводів можна одержати експериментально за допомогою комплекту приладів, змонтованих у вигляді переносного стенда (рис. 12.1). Оскільки більшість електроприводів працюють із змінним навантаженням, то згідно з вимогами стандарту основні прилади мають бути реєструючими (самописними).

До складу стенда входять: трифазний ватметр (KW), амперметр (A) та вольтметр (V). Ватметр та амперметр підімкнені через трансформатори струму $TA1$ та $TA2$, які повинні мати первинну обмотку з перемиканням величини струму для випробування електроприводів різної потужності або ж змінні трансформатори залежно від сили струму.

Вольтметр V підключений до мережі через перемикач SA , який дає можливість почергово вимірювати фазну напругу на кожній з фаз. Це необхідно для контролю рівня напруги, що провадять до початку досліджень, а також симетрії напруг у мережі з використанням показуючого вольтметра V .

Двигуни протягування діаграмного паперу вмикають перемикачами *SA1*, *SA2*, *SA3*, при цьому записують параметри, необхідні для даних досліджень.

Реєструючий секундомір *PT* може бути ввімкнений вручну (пуск — стоп) або автоматично блок-контактами електромагнітного пускача *KM*. Облік часу дає змогу контролювати необхідну тривалість досліду. При повному циклі запису роботи електропривода можна також визначити режим роботи. Крім того, за показами ватметра за наявності часу роботи без електродільника визначають витрати електроенергії за час проведення досліду.

Захист стенда від аварійних режимів здійснюється автоматичним вимикачем *QF*, а наявність напруги контролюється за сигнальною лампою *HL*.

Клас точності реєструючих приладів — 2,5. Перед проведенням циклу досліджень стенд перевіряють підімкненням паралельно переносного комплексу приладів *K505*, в якому встановлені прилади з класом точності 0,5. Всі вимірювальні прилади повинні мати пломбу і свідоцтво про проведення державної або відомчої метрологічної перевірки.

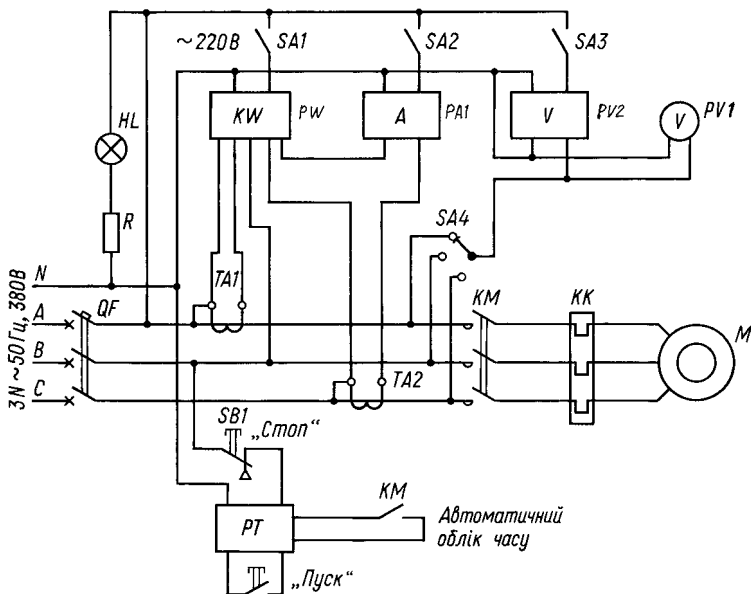


Рис. 12.1. Електрична принципіальна схема стенда для випробування електроприводів

Коефіцієнт трансформації трансформаторів ТА1 та ТА2 вибирають з таким розрахунком, щоб одержати діаграму приблизно в середній частині діаграмного паперу, а при можливих стрибках струму або потужності записуючий пристрій не повинен виходити за межі діаграми. Первинний струм трансформаторів струму повинен бути більшим струму навантаження. На час пуску електроприводів трансформаторів струму шунтують.

Швидкість протягування діаграмного паперу вибирають залежно від частоти зміни навантаження електропривода. Лінії запису не повинні зливатись і мають бути придатними для вимірювання параметра в будь-який момент часу.

Досліди провадять в три-п'ятикратній повторності.

12.2. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Оцінка дослідних, модернізованих та виробничих зразків електроприводів сільськогосподарських машин, агрегатів і потокових ліній, як правило, виконується на машиновипробувальних станціях (МВС). Основним документом, який регламентує методику оцінок, є ОСТ 70.2.3–79 “Методы оценок электроприводов сельскохозяйственных агрегатов”.

Згідно з цим стандартом залежно від мети випробування машин з електроприводом електроприводи оцінюють за повною, скороченою та спеціальною програмами.

Повна програма включає такі види оцінок:

- відповідність виконання елементів електропривода умовам навколишнього середовища;
- відповідність номінального струму електродвигуна струму навантаження;
- відповідність електродвигуна робочій машині за умови пуску;
- відповідність кількості вмикань електродвигуна на годину допустимим значенням для повторно-короткочасного режиму роботи;
- відповідність захисту електродвигуна від струмів перевантажень та коротких замикань;
- якість виготовлення шаф та пультів керування;
- якість функціонування пристроїв автоматичного керування та регулювання;
- визначення енергетичних показників робочої машини з електроприводом.

За повною програмою провадять випробування заново спроектованих і модернізованих електроприводів, а також виробничих зразків першого року випуску.

Одержані оцінки для дослідних та модернізованих зразків порівнюються з показниками еталонної машини, а для виробничих — з технічними умовами.

Скорочену програму випробувань застосовують для електроприводів другого та наступних років випуску, які проходять періодичні випробування.

За цією програмою одержують такі види оцінок:

- відповідність елементів електропривода умовам навколишнього середовища;
- відповідність захисту електропривода від струмів перенавантажень та коротких замикань;
- відповідність конструкції та якості виготовлення шаф і пультів керування.

За спеціальною програмою провадять випробування згідно з розпорядженнями вищестоящих організацій, де вказують мету та обсяг випробувань.

Випробування провадять при напрузі живлення 220/380 В і частоті струму 50 Гц. Допустиме відхилення напруги на затискачах асинхронного двигуна від $-7,5$ до $+10$ % від номінального значення. При пуску електродвигуна значення зниження напруги на його затискачах не повинно перевищувати 20 % номінального, що забезпечується пропускнуою спроможністю електричної мережі.

Для оцінки електроприводів сільськогосподарських машин та агрегатів вимірюють такі параметри:

- напругу на затискачах електродвигуна, В;
- споживану силу струму електродвигуна, А;
- потужність, споживану двигуном з мережі, кВт;
- час розгону електродвигуна до номінальної частоти обертання, с;
- продуктивність машини (агрегату), кг/с, м³/с, л/с (беруть за даними зоінженерної або агротехнічної оцінок);
- час роботи та паузи (для повторно-короткочасного режиму роботи), с;
- кількість споживаної активної та реактивної електроенергії, кВт · год, кВАр · год.

Відносна похибка параметра, який вимірюється, не повинна перевищувати 4 %. Вимірювання напруги, сили струму, потужності провадять приладами з аналоговою реєстрацією, решту вимірювань — показуючими приладами. Кількість

споживаної електроенергії вимірюють лічильниками активної та реактивної енергії. Якщо навантаження має рівномірний характер при тривалому режимі роботи, вимірювання напруги, сили струму та потужності можна провадити за допомогою показуючих приладів.

Тривалість реєстрації кожного параметра при усталеному режимі роботи машини має бути не менше як 60 с. При короткочасному та повторно-короткочасному режимах роботи показники реєструють протягом повного робочого циклу.

Обробку результатів вимірювання провадять з використанням методів математичної статистики.

Перш за все визначають середньоарифметичне значення \bar{x} показників, що вимірювались:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i, \quad (12.1)$$

де x_i — результат i -го виміру; n — кількість вимірів.

Для основних показників (напруга, струм, потужність) визначають довірчий інтервал, в якому знаходиться значення параметра, що вимірюють:

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x. \quad (12.2)$$

Абсолютна похибка параметра Δx дорівнює

$$\Delta x = \tau S_{\Sigma},$$

де τ — поправочний коефіцієнт; S_{Σ} — сумарне середньоквадратичне відхилення випадкової похибки параметра і похибка приладів.

Поправочний коефіцієнт τ розраховують за формулою

$$\tau = \frac{\text{tg}, n - 1 S_{\bar{x}} + \Delta x_{\text{H}} / 100}{S_{\bar{x}} + \Delta x_{\text{H}} / 196}. \quad (12.3)$$

Сумарне середньоквадратичне відхилення випадкової похибки S_{Σ} становить

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2 + \left(\frac{\Delta x_{\text{H}}}{196}\right)^2}, \quad (12.4)$$

де $t_{\alpha, n-1}$ — табличне значення критерію розподілу Стюдента для ступеня свободи і вірогідність помилки $q = 0,05$; $S_{\bar{x}}$ — середньоквадратичне відхилення похибки параметра; Δ — клас точності приладу, %; x_H — кінцеве значення діапазону вимірювання.

Середньоквадратичне відхилення похибки параметра розраховують так:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}. \quad (12.5)$$

Відносну похибку вимірювання основних показників визначають за формулою

$$\delta_{\bar{x}} = \frac{\Delta x}{x} 100. \quad (12.6)$$

Пункти повної програми оцінки електропривода виконують з урахуванням таких положень.

Відповідність виконання електропривода умовам навколишнього середовища перевіряють шляхом порівняння метеорологічних умов кліматичних зон і параметрів мікроклімату відповідних сільськогосподарських приміщень зі ступенем захисту оболонок за ГОСТ 14254–80 та ГОСТ 14255–80, кліматичним виконанням та категорією розміщення обладнання за ГОСТ 15150–69.

Відповідність номінального струму електродвигуна струму навантаження з боку робочої машини перевіряють з урахуванням режиму роботи.

При тривалому режимі роботи, коли коефіцієнт варіації навантажувальної діаграми за струмом не більше 20 %, має виконуватись умова:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{екв}}, \quad (12.7)$$

де $I_{\text{екв}}$ — еквівалентне значення сили струму.

Коефіцієнт варіації визначають за формулою

$$k_B = \frac{S_{\bar{I}}}{I_{\text{сер}}}, \quad (12.8)$$

де $S_{\bar{I}}$ — середньоквадратичне відхилення струму; $I_{\text{сер}}$ — середньоарифметичне значення сили струму.

Якщо коефіцієнт варіації навантажувальної діаграми менший за 20 %, перевірку ведуть за умовою:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{сер}}. \quad (12.9)$$

При повторно-короткочасному режимі роботи перевірку виконують теж за виразом (12.7), але еквівалентний струм визначають за формулою

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{I_{\text{пуск}}^2 t_{\text{розг}} + I_{\text{р}}^2 t_{\text{р}}}{0,75 t_{\text{розг}} + t_{\text{р}} + 0,5 t_{\text{паузи}}}}, \quad (12.10)$$

де $I_{\text{пуск}}$ — пусковий струм двигуна, А; $t_{\text{р}}$ — тривалість робочого періоду, с; $t_{\text{розг}}$ — тривалість розгону двигуна, с; $t_{\text{паузи}}$ — тривалість паузи, с.

При короткочасному режимі роботи відповідність струмів навантаження перевіряють за умовою: $I_{\text{ном}} \geq k I_{\text{екв}}$,

$$k = 1 - e^{-\frac{t_{\text{р}}}{T_{\text{н}}}}, \quad (12.11)$$

де $t_{\text{р}}$ — тривалість робочого періоду, с; $T_{\text{н}}$ — стала часу нагріву двигуна, с.

Еквівалентне значення струму при цьому визначають за формулою

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{I_{\text{пуск}}^2 t_{\text{розг}} + I_{\text{р}}^2 t_{\text{р}}}{0,75 t_{\text{розг}} + t_{\text{р}}}}. \quad (12.12)$$

Якщо умова перевірки не виконується, електродвигун підлягає заміні на більший за потужністю.

Відповідність електродвигуна робочій машині при пуску перевіряють за виразом

$$t_{\text{розг}} \leq t_{\text{розг.доп}}, \quad (12.13)$$

де $t_{\text{розг.доп}}$ — допустимий час розгону двигуна до номінальної частоти обертання, с.

Допустимий час розгону двигуна залежить від його габаритів, конструктивного виконання (захищений, закритий),

температури навколишнього середовища і наводиться в каталогах.

Для двигунів сільськогосподарського виконання 3 – 5 габаритів цей час становить 12 – 13 с, 6 – 7 габаритів — 15 – 16 с, для двигунів, призначених для привода осьових вентиляторів — 11 – 13 с.

Оцінку електродвигуна за числом вмикань на годину проводять у випадках, коли час розгону двигуна до номінальної швидкості перевищує 5 с, а кількість вмикань за технологічним процесом більше 4 на годину при повторно-короткочасному режимі роботи за умови

$$Z_{\phi} \leq Z_{\text{доп}}, \quad (12.14)$$

де Z_{ϕ} — кількість вмикань двигуна на годину, зумовлена технологічними вимогами; $Z_{\text{доп}}$ — допустима кількість вмикань двигуна на годину за умовами нагрівання.

$$Z_{\text{доп}} = 2250 \frac{(1 - \varepsilon)(1 + \alpha)}{k_i^2 t_{\text{розг}}}, \quad (12.15)$$

де α — відношення постійних втрат в електродвигуні до змінних (для електродвигунів сільськогосподарського призначення $n_c \leq 1000$ об/хв приймають 0,8; при $n_c \geq 1000$ об/хв — 0,9).

Відносна тривалість вмикання електродвигуна ε дорівнює

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{паузи}}}. \quad (12.16)$$

Відповідність захисту електродвигуна від струмів перевантаження за допомогою теплового реле перевіряють за умовою

$$I_{\text{у.т.р}} \geq I_{\text{ном}},$$

де $I_{\text{у.т.р}}$ — струм уставки теплового реле, А; $I_{\text{ном}}$ — номінальний струм двигуна, А.

При захисті електродвигуна від перевантажень за допомогою автоматичного вимикача з тепловими або комбінованими розчіплювачами умова залишається такою самою.

Відповідність захисту від струмів короткого замикання при використанні автоматичних вимикачів з електромагнітними розчіплювачами перевіряється за спрощеним виразом

$$I_{\text{відс}} \geq 1,5I_{\text{пуск}}, \quad (12.17)$$

де $I_{\text{відс}}$ — струм спрацювання електромагнітного розчіплювача, А; $I_{\text{пуск}}$ — пусковий струм двигуна, А.

Оцінку вмонтованого температурного захисту ведуть шляхом порівняння критичної температури позисторів, що застосовані, з допустимою температурою нагрівання ізоляції двигуна, яка визначається класом ізоляції.

Перевірку конструкції та якості виготовлення шаф і пультів керування провадять відповідно до ГОСТ 3244–78 та технічної документації, яка затверджена у встановленому порядку.

При оцінці якості функціонування пристроїв автоматичного регулювання електроприводів сільськогосподарських машин визначають відповідність цих пристроїв вимогам точності підтримання технологічного процесу. До цих вимог відносять: статичну та динамічну похибки, час регулювання.

Узагальненим показником статичної похибки є вірогідність порушення поля допустимих відхилень регульованого параметра від заданого значення, яка дорівнює

$$B_{\text{н,в}} = \left[0,5 - \Phi \left(\frac{0,5\alpha \pm F}{\delta} \right) \right], \quad (12.18)$$

де $B_{\text{в}}$ — вірогідність порушення верхньої межі поля допустимих відхилень; $B_{\text{н}}$ — те саме, нижньої межі; $\Phi(T)$ — значення інтеграла вірогідності Лапласа:

$$T = \frac{0,5\alpha \pm F}{\delta}, \quad (12.19)$$

де α — задане значення полі допуску за зоотехнічними та агротехнічними вимогами; $F = \bar{x} - x_{\text{зад}}$ — точність установлення задатчика; \bar{x} — середнє значення параметра вибірки; $x_{\text{зад}}$ — значення параметра, що задане; δ — середньоквадратичне відхилення параметра.

Допустиме значення вірогідності порушення поля допуску становить

$$B_{\text{н}} + B_{\text{в}} = 0,5.$$

Об'єм вибірки повинен становити не менше ніж 30 вимірів параметра в усталеному режимі.

Динамічну похибку визначають з графіка перехідного процесу:

$$\delta_i = \frac{A_{\max} - A_{\text{уст}}}{A_{\text{уст}}} 100, \quad (12.20)$$

де A_{\max} — максимальне значення параметра при перехідному процесі; $A_{\text{уст}}$ — усталене значення параметра після регулювання.

Повторюваність досліду — не менш ніж 10.

Допустиме значення динамічної похибки $\delta_{\text{доп}}$ дорівнює 30 % від середньоарифметичного.

Час регулювання визначають за діаграмою перехідного процесу, яка записана самописним приладом і дорівнює

$$t_{\text{пер}} = \frac{l}{v}, \quad (12.21)$$

де l — тривалість перехідного процесу за діаграмною стрічкою, мм; v — швидкість протягування діаграмного паперу, мм/с.

Допустиме значення часу регулювання — 30 с.

Розглянемо оцінку функціонування пристроїв автоматичного регулювання на прикладі регулятора завантаження дробарки, статистичні характеристики якої такі: $\bar{x} = 5$ т/год; $\delta = 0,05$ т; $x_{\text{зад}} = 5,04$ т; $\alpha = 0,2$ т, $F = 5 - 5,04 = -0,04$ т.

$$\text{Для нижньої межі: } T_{\text{н}} = \frac{0,5 \cdot 0,2 - 0,04}{0,05} = 1,2; \quad \Phi(T_{\text{н}}) = 0,385;$$

$$B_{\text{н}} = 0,11.$$

$$\text{Для верхньої межі: } T_{\text{в}} = \frac{0,5 \cdot 0,2 + 0,04}{0,05} = 2,8; \quad \Phi(T_{\text{в}}) = 0,493;$$

$$B_{\text{в}} = 0,002.$$

Аналіз показує, що вірогідність порушення нижньої межі ($B_{\text{н}}$) перевищує допустиме значення.

Динамічну похибку та час регулювання визначимо з перехідної характеристики регулятора (рис. 12.2).

Динамічна похибка дорівнює

$$\delta = \frac{I_{\max} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} 100 = \frac{63,5 - 53,5}{53,5} 100 = 26 \%. .$$

Допустиме значення становить 30 %.

Час регулювання $t_{\text{пер}} = \frac{38}{1,5} = 25,8$ с, допустимий — 30 с.

Висновок: динамічна похибка та час регулювання відповідають вимогам технологічного процесу.

До енергетичних показників, які мають бути визначені при оцінці електроприводів, відносять: коефіцієнт завантаження двигуна при виконанні технологічного процесу; коефіцієнт потужності; питому енергоємність; питому встановлену потужність.

Коефіцієнт завантаження електродвигуна для тривалого та повторно-короткочасного режимів роботи визначають за формулою

$$k_3 = \frac{P_{\text{екв}} \eta_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (12.22)$$

де $P_{\text{екв}}$ — еквівалентне значення потужності, кВт; $P_{\text{ном}}$ — номінальна (паспортна) потужність двигуна, кВт; $\eta_{\text{ном}}$ — номінальний ККД електродвигуна.

Для короткочасного режиму роботи k_3 дорівнює

$$k_3 = \frac{k P_{\text{екв}} \eta_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (12.23)$$

де k — коефіцієнт, який визначають за формулою (12.11).

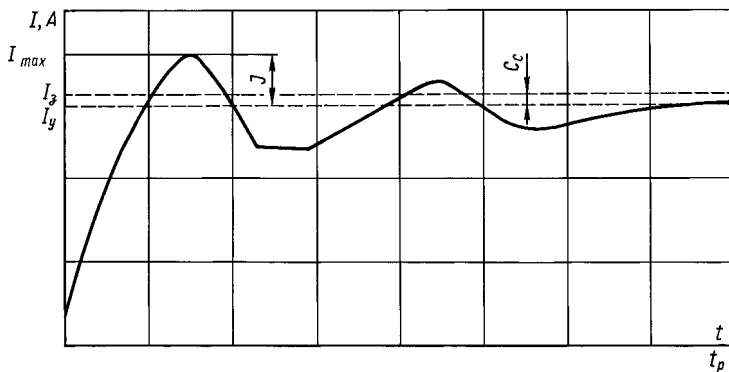


Рис. 12.2. Перехідна характеристика регулятора завантаження дробарки

Визначений коефіцієнт завантаження має задовольняти умову $0,7 \leq k_3 \leq 1$, що відповідає максимальному значенню ККД двигуна, а отже, мінімальним втратам.

Коефіцієнт потужності електродвигуна протягом технологічного циклу визначають за формулою

$$\cos \varphi_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{сер}}}{\sqrt{3} U_{\text{л.сер}} I_{\text{сер}}}, \quad (12.24)$$

де $P_{\text{сер}}$, $U_{\text{л.сер}}$, $I_{\text{сер}}$ — відповідно середні значення потужності, напруги та струму, розраховані за відповідними формулами. При правильному виборі електродвигуна за потужністю $\cos \varphi_{\text{сер}}$ має бути максимально наближеним до $\cos \varphi_{\text{ном}}$. Коефіцієнт потужності можна також визначити за показами лічильників активної (A_a) та реактивної (A_p) енергії, споживаної за час технологічного процесу, а саме:

$$\cos \varphi_{\text{сер}} = \frac{A_a}{\sqrt{A_a^2 + A_p^2}}. \quad (12.25)$$

Питому енергоємність процесу робочої машини, яка працює індивідуально, визначають за формулою

$$\Delta A = \frac{A_a}{M}, \quad (12.26)$$

де M — кількість одержаної продукції, т, м³ тощо.

Для визначення питомої встановленої потужності користуються формулою

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_{\text{н.}i}}{Q_{\text{сер}}}, \quad (12.27)$$

де $\sum P_{\text{н.}i}$ — сума номінальних потужностей двигунів, що встановлені на машині чи агрегаті, кВт; $Q_{\text{сер}}$ — продуктивність машини чи агрегату, яка одержана при лабораторно-фермерських випробуваннях, т/год, м³/год та ін.

При порівняльній оцінці двох або більше робочих машин (агрегатів) з електроприводом перш за все порівнюють їх енергетичні показники, розглядаючи їх з точки зору економії електроенергії. Перевагу віддають машині чи агрегату, який має меншу енергоємність.

Якщо основні енергетичні показники машин, що порівнюються, відрізняються мало, то порівняння ведуть за додатковими показниками, серед яких основними є:

- кошторисна вартість комплекту обладнання;
- надійність роботи та простота керування;
- витрати на експлуатацію та ремонт;
- строк служби агрегату.

12.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ПРИВІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН

12.3.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ЗРУШЕННЯ РОБОЧОЇ МАШИНИ

Значення моменту зрушення робочої машини необхідне для перевірки вибраного електродвигуна за пусковими якостями:

$$K_U^2 M_{\text{пуск}} \geq M_{\text{зр}} + 0,25M_{\text{н}}, \quad (12.28)$$

де $K_U = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{н}}}$ — відношення напруги на затискачах двигуна в період пуску до номінальної напруги; $M_{\text{пуск}}$ — пусковий момент двигуна за каталогом; $M_{\text{н}}$ — номінальний момент двигуна за каталогом.

Залежно від умов пуску машини момент зрушення визначають на холостому ході або під навантаженням. Дослід проводять не менше ніж в п'ятикратній повторності.

Найпоширеніші такі схеми проведення досліду.

1. У місці механічного з'єднання машини з електродвигуном на одному з валів закріплюють важіль, де є пристрій для розміщення ваг (рис. 12.3, а). Починаючи з найменшої, вагу поступово збільшують доти, поки вал не зрушить з місця і важіль не повернеться. Далі ослаблюють кріплення важеля, повертають його на 90° і дослід повторюють.

Значення моменту зрушення визначають за формулою

$$M_{\text{зр}} = FR + M_R, \quad (12.29)$$

де $F = mg$ — змінна вага, Н; R — радіус важеля, м; M_R — момент, створюваний самим важелем (за схемою на рис. 12.3, а цей момент врівноважується другою половиною важеля і дорівнює нулю).

2. Для вимірювання невеликих моментів зрушення за наявності на валу двигуна чи машини шківів використовують гнучкий трос, який намотують на шків і на кінці його закріплюють трос з вагами (рис. 12.3, б).

Момент зрушення в цьому випадку визначається за формулою

$$M_{зр} = FR. \quad (12.30)$$

Замість змінних ваг можна при невеликих зусиллях F (до 100 – 150 Н) використати динамометр (рис. 12.3, в) з ручним натягуванням гнучкого троса.

3. При випробуваннях сільськогосподарських машин на валу машини закріплюють ротаційний динамометр РДД, тоді момент зрушення може бути записаний на осцилограмі.

Якщо експериментальні дані відсутні, то як орієнтовні значення моментів зрушення на холостому ходу в частках від номінального моменту приймають такими: для відцентрових вентиляторів та насосів — $(0,05 - 0,1)M_{сн}$; подрібнювачів, дробарок — $(0,20 - 0,25)M_{сн}$; змішувачів кормів залежно від виду робочих органів — $(0,3 - 0,4)M_{сн}$; гвинтових та стрічкових конвеєрів — $(0,15 - 0,2)M_{сн}$; скребкових ланцюгових конвеєрів — $(0,7 - 0,8)M_{сн}$. Дані наведені для попередньо розкрученої (розігрітої) машини.

При пуску машини з частковим або повним завантаженням момент зрушення машин, у яких визначальним опором є

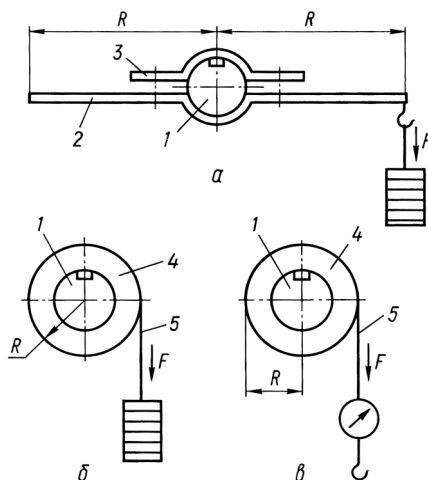


Рис. 12.3. Методи вимірювання моментів зрушення робочої машини:

а — за допомогою важеля з вантажем; б — тросика з вантажем; в — тросика з динамометром; 1 — вихідний вал; 2 — важіль; 3 — кріплення важеля; 4 — шків (напівмуфта); 5 — тросик

сила тертя, може бути більшим за номінальний момент. Для цих самих машин момент зрушення значно більший моменту холостого ходу.

12.3.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОДВИГУН — РОБОЧА МАШИНА

Визначення моменту інерції системи на стадії проектування електроприводів необхідне для розрахунку перехідних процесів, їх тривалості, втрат енергії, а на стадії випробування та налагодження електроприводів — для визначення часу розгону системи та спроможності конкретно взятого двигуна розігнатися з відповідною робочою машиною.

Для визначення зведеного моменту інерції робочої машини з електродвигуном застосовують кілька методів: метод падаючого вантажу, метод вільного вибігу (метод холостого ходу та самогальмування), які детально описані в попередніх розділах підручника.

12.3.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧОЇ МАШИНИ

Якщо проведені досліди методу холостого ходу та самогальмування і визначена величина моменту інерції, механічну характеристику робочої машини можна побудувати за кривою вільного вибігу (рис. 12.4).

Для режиму вільного вибігу, коли електродвигун вимкнений, рівняння руху електропривода має вигляд:

$$-M_c = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon, \quad (12.31)$$

де ε — кутове сповільнення, рад/с²; J — зведений момент інерції системи, кг · м²; M_c — момент опору робочої машини, Н · м².

Момент опору системи при частоті обертання n_1 визначають за формулою

$$M_{c1} = 9,55 P_{\text{мех}} / n_1;$$

для частоти обертання n_2

$$M_{c2} = 9,55 P_{\text{мех}} / n_2$$

і т. д., де $P_{\text{мех}}$ — сума потужності, необхідної для привода машини і потужності механічних втрат у двигуні при частоті обертання перед моментом вимкнення двигуна (визначається при розрахунках моменту інерції).

Порядок розрахунку механічної характеристики робочої машини $M_c = f(n)$ такий. Криву вільного вибігу розбивають на ряд ділянок при однакових відрізках часу Δt_k (точки 1, 2, 3, 4) і за кривою знаходять відповідні їм зміни частоти обертання Δn_k .

Тоді крива сповільнення системи відповідає рівнянню

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta n_k}{\Delta t_k} \frac{\pi}{30}. \quad (12.32)$$

Момент опору системи $M_{\text{ск}} = J\varepsilon_k$ при середній на ділянці частоті обертання дорівнює

$$n_{\text{сер.к}} = \frac{n_k + n_{k+1}}{2}. \quad (12.33)$$

Момент опору робочої машини визначають так:

$$M_{\text{см}} = M_c - M_{\text{сд}},$$

де $M_{\text{сд}}$ — момент опору двигуна (визначають попереднім таруванням двигуна).

Для машин, у яких $M_c = \text{const}$, для побудови механічної характеристики при відомому моменті інерції достатньо визначити одну точку:

$$M_c = J\varepsilon.$$

На машиновипробувальних станціях механічну характеристику робочої машини знімають за допомогою ротаційного динамометра — зірочки РДД, який подає сигнали, пропор-

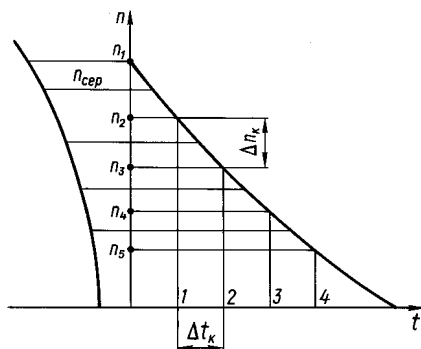


Рис. 12.4. Визначення привідних характеристик робочої машини

ційні моменту опору. За допомогою тахогенератора постійного струму одержують сигнали, пропорційні частоті обертання. Обидва сигнали фіксуються на осцилограмі, після обробки якої знаходять залежність $M_c = f(n)$.

Використовують також тензостанції, які включають тензодатчики, наклеєні на відповідні вали машини, підсилювачі та записуючі пристрої. Тензодатчики фіксують обертаюче зусилля на валу, а тахометр — частоту обертання вала.

12.3.4. ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ-ВИГОТОВЛЮВАЧАХ

Випробування проводяться з метою забезпечення надійної роботи всіх ланок електроприводів (електродвигун, перетворювальні пристрої, апарати керування та ін.) в умовах експлуатації протягом гарантійного строку. Згідно з ГОСТ 15.001–71 випробування поділяються на попередні, державні приймальні, періодичні та типові. Перші два види випробувань здійснюються на стадії проектування, а типові — при внесенні змін до проекту.

Програма періодичних випробувань, крім основних, включає ряд спеціальних випробувань, серед яких найважливіші такі.

1. *Механічні випробування*, які мають визначати стійкість виробу до впливу зовнішніх механічних факторів і здатність його виконувати задані функції в даних умовах. При цьому досліджується вплив таких механічних факторів: вібрація, ударні навантаження, лінійні та відцентрові зусилля, навантаження при транспортуванні різними видами транспорту.

2. *Кліматичні випробування* проводяться з метою перевірки працездатності апаратури в умовах впливу атмосферних факторів: температури навколишнього середовища, вологості, зміни атмосферного тиску, сонячної радіації, динамічного та статичного впливу пилу.

3. *Електричні випробування* мають за мету перевірку електричної міцності та електричного опору ізоляції. Ізоляція електричних кіл повинна витримувати без пробою протягом 1 хв дію напруги синусоїдальної форми частотою 50 Гц. Значення напруги під час випробування повинно бути рівне або перевищувати трикратну робочу напругу, при цьому збільшення напруги треба проводити плавно або ступенями, що не перевищують 10 % від величини напруги випробування.

Для кіл з максимальною робочою напругою до 100 В у технічно обґрунтованих випадках допускається скорочувати час витримки ізоляції під напругою до 1 с з одночасним збільшенням напруги під час випробування на 25 %. При цьому збільшення і зменшення напруги слід виконувати за можливістю миттєво.

Перевірку опору ізоляції слід проводити спеціальними приладами (омметрами, мегаомметрами та ін.) з похибкою вимірів не більш як 20 %. В технічно обґрунтованих випадках допускається перевіряти опір ізоляції методом вольтметра — амперметра шляхом виміру струму витікання.

4. *Випробування на надійність* проводять у лабораторних умовах. При випробуваннях мають бути зафіксовані напруження на відмову, моменти виникнення відмов, загальна кількість відмов, режими роботи, при яких виникли відмови, час відновлення працездатності, причини виникнення відмов.

В кінці випробувань аналізують всі результати та визначають показники надійності за загальноприйнятою методикою.

**ТЕМАТИКА ТА ПРИБЛИЗНИЙ ЗМІСТ
КУРСОВОЇ РОБОТИ, ПЕРЕДБАЧЕНОЇ НАВЧАЛЬНИМ ПЛАНОМ
З ДАНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

ЗАВДАННЯ

**НА ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ
“ЕЛЕКТРОПРИВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН,
АГРЕГАТІВ ТА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ”
(ПРИКЛАД)**

Прізвище студента _____

Тема роботи _____

Технічні дані установки

Навантажувальна
діаграма

Спеціальні завдання _____

ЗМІСТ І ОБСЯГ РОБОТИ

Завданням курсової роботи є закріплення студентами теоретичних знань, одержаних при вивченні електропривода, набуття практичних навичок з проектування електроприводів сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вступ.
2. Короткий опис функціональної та кінематичної схеми установки.
3. Розрахунок (або опис іншого способу одержання) навантажувальної діаграми та механічної характеристики робочої машини. Визначення режиму роботи двигуна.
4. Вибір типу передачі від електродвигуна до робочої машини, опис її елементів.
5. Попередній вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання.

6. Вибір електродвигуна за електричними модифікаціями, конструктивним виконанням, кліматичним виконанням, ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

7. Визначення зведеного до вала двигуна моменту інерції привода і порівняння цього моменту інерції з гранично допустимим для вибраного електродвигуна.

8. Розрахунок і побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми електродвигуна (при індивідуальному приводі — для головного двигуна або двигуна з найскладнішим режимом роботи і пуску).

9. Перевірка вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час роботи.

10. Визначення тривалості пуску електродвигуна (при режимі S3 — і кількості пусків привода за годину та порівняння його з допустимим).

11. Перевірка вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час пуску.

12. Перевірка вибраного електродвигуна на перевантажувальну здатність.

13. Визначення повної, активної та реактивної потужності, споживаної електродвигуном з електричної мережі.

14. Розробка (або вибір) схеми керування електроприводом установки, опис роботи схеми.

15. Вибір апаратів керування і захисту, інших елементів схеми автоматичного керування, а також електропроводок від ввідного апарата до всіх елементів електропривода.

16. Перелік вибраного електрообладнання.

17. Визначення вартості вибраного комплекту електрообладнання (включаючи вартість монтажу НКП).

Обсяг курсової роботи — розрахункова записка формату А4 на 25 – 30 с. з вкладками схем та графіків.

ПЕРЕЛІК СХЕМ

1. Функціональна схема робочої машини з зображенням розміщення електродвигунів, елементів автоматики, шаф і пультів (постів) керування, силових шаф.

2. Кінематична схема робочої машини і електропривода.

3. Принципіальна схема автоматичного керування електроприводом.

4. Схема електричних з'єднань одного комплекту електрообладнання (шафи, пульта керування, електропривода в цілому).

Дата видачі завдання _____

Термін здачі роботи _____

Керівник роботи _____

**ТЕМАТИКА
ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ
З КУРСОВОЇ РОБОТИ**

В курсовій роботі проводиться вибір і перевірка привідного електродвигуна, апаратів захисту і керування таких робочих машин:

1. Вентилятор установки УВС-16А-1.
2. Дробарка КДУ-2,0.
3. Дробарка ДБ5-1.
4. Дробарка ДКМ-5.
5. Дробарка ДБУ-Ф-20.
6. Подрібнювач ИГК-30Б.
7. Подрібнювач ИКБ-Ф-5А “Волгарь-5”.
8. Подрібнювач ИРТ-Ф-80-1.
9. Подрібнювач ИРМ-50.
10. Подрібнювач “Блок-700”.
11. Подрібнювач коренебульбоплодів ИКМ-Ф-10.
12. Подрібнювач коренеплодів ИКМ-5.
13. Змішувач кормів СКО-Ф-6-2.
14. Змішувач кормів ЗС-6.
15. Змішувач кормів С-30.
16. Змішувач меляси та карбаміду СМ-1,7.
17. Подрібнювач-змішувач кормів ИСК-3А.
18. Соломосилосорізка РСС-6,0.
19. Агрегат АПК-10А.
20. Кормороздавач РВК-Ф-74.
21. Кормороздавач-змішувач КЭС-1,7.
22. Кормороздавач РС-5А.
23. Гноєприбиральний транспортер ТС-1.
24. Гноєприбиральний транспортер ТСН-3,0Б.
25. Гноєприбиральний транспортер ТСН-160А.
26. Скреперна установка УС-15.
27. Скреперна установка УСН-8.
28. Вакуум-насос УВУ-60/45.
29. Заглибний електронасосний агрегат 1ЭЦВ6-10-100.
30. Заглибний електронасосний агрегат ЭЦВ8-25-100.
31. Заглибний електронасосний агрегат ЭЦВ12-160-65.
32. Відцентровий консольний насос КМ 90/35.
33. Відцентровий консольний насос КМ 45/30.
34. Вентилятор осьовий В-06-300А.
35. Вентилятор В-Ц4-75.
36. Вентилятор осьовий ВО-Ф-5,6А.
37. Вентилятор осьовий ВО-Ф-7,1.

38. Транспортер — живильник коренебульбоплодів ТК-5Б.
39. Змішувач кормів СКО-Ф-3.
40. Живильник концентрованих кормів ПК-6.
41. Дробарка-подрібнювач ИРТ-165-02К.
42. Електроталь ТЭП-1.
43. Транспортер гвинтовий УШ2-4-2520.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ТА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бородин И. Ф., Недилько Н. М.* Автоматизация технологических процессов. — М.: Агропромиздат, 1986. — 368 с.
2. *Гончар В. Ф.* Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. — К.: Вища шк., 1985. — 207 с.
3. *Гуляев Г. А.* Автоматизация процессов послеуборочной обработки и хранения зерна. — М.: Агропромиздат, 1990. — 278 с.
4. *Электропривод* / О. С. Марченко, Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, Є. Л. Жулай; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 1995. — Ч. 1. — 208 с.
5. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Госэнергоиздат, 1975. — 568 с.
6. *Калинушкин М. П.* Вентиляторные установки. — М.: Высш. шк., 1979. — 223 с.
7. *Ключев В. И., Терехов В. М.* Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. — М.: Энергия, 1980. — 360 с.
8. *Лобаев Б. Н.* Расчет воздухопроводов. — К.: Госстройиздат УССР, 1959. — 196 с.
9. *Механізація виробництва продукції тваринництва* / І. І. Ревенко, Г. М. Кукта, В. М. Манько та ін.; За ред. І. І. Ревенка. — К.: Урожай, 1994. — 264 с.
10. *Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві* / О. С. Марченко, О. В. Дацишин, Ю. М. Лавріненко та ін.; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 1995. — 416 с.
11. *Некрасов С. С.* Обработка металлов резанием. — М.: Агропромиздат, 1988. — 365 с.
12. *Новиков Ю. Ф., Гопка В. В.* Электромобильные машины для животноводства. — М.: Агропромиздат, 1988. — 190 с.
13. *ОСТ 70.2.3–79.* Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки электроприводов сельскохозяйственных агрегатов. — М., 1980. — 38 с.
14. *Фоменков А. П.* Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. — М.: Колос, 1984. — 280 с.
15. *Центробежные вентиляторы* / Под ред. Т. С. Соломаховой. — М.: Машиностроение, 1975. — 414 с.

Передмова	3
1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	5
1.1. Особливості роботи електроприводів у сільському господарстві	5
1.2. Привідні характеристики робочих машин	6
1.3. Вплив електропостачання на роботу електроприводів	11
2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК	15
2.1. Загальні відомості	15
2.2. Механічні та енергетичні характеристики насосів	17
2.3. Вибір електродвигунів для привода насосів	21
2.4. Способи регулювання подачі насосів	25
2.5. Принципи автоматизації водонасосних установок	26
2.6. Автоматичний захист електронасосних агрегатів	38
2.7. Комплекти пристрої керування водонасосними установками	44
2.8. Автоматизований електропривід в установках зрошення	48
3. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК	52
3.1. Класифікація вентиляторів	53
3.2. Розрахунок вентиляційних установок	59
3.3. Регулювання параметрів вентилятора	64
3.4. Вибір вентилятора та електропривода до нього	69
3.5. Комплекти обладнання для автоматичного керування вентиляційними установками	74
3.6. Особливості автоматизованого електропривода вентиляційних установок в інших технологічних процесах	84
4. ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ	87
4.1. Привідні характеристики стаціонарних транспортерів	87
4.1.1. Автоматизація стаціонарних транспортерів	98
4.2. Електропривід вантажопідйомних машин	104
4.2.1. Вибір електродвигунів	108
4.2.2. Автоматизація кранових електроприводів	113
5. ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ КОРМОПРИГОТУВАЛЬНИХ МАШИН ТА АГРЕГАТІВ	119
5.1. Електропривід подрібнювачів кормів	120
5.1.1. Привідні характеристики подрібнювачів кормів	121
5.1.2. Автоматизація подрібнювачів кормів	131
5.2. Електропривід вальцових машин	140
5.3. Електропривід машин для пресування кормів	145
5.4. Електропривід змішувачів кормів	147
5.5. Автоматизація змішувачів кормів	153
5.6. Комплекти обладнання для приготування кормів	155

6. ЕЛЕКТРОПРИВІД ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК І МАШИН ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА	161
6.1. Електропривід вакуум-насосів, молочних насосів, сепараторів	163
6.2. Електропривід холодильних машин і пастеризаторів молока	171
7. ЕЛЕКТРОПРИВІД РУЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	178
7.1. Вимоги до електропривода	178
7.2. Характеристика електродвигунів, що використовують для привода РЕМ	181
7.3. Джерела живлення РЕМ	183
7.4. Особливості електроприводів РЕМ, що застосовують у різних галузях сільського господарства	186
7.5. Правила безпеки при експлуатації РЕМ	190
8. КОМПЛЕКТИ МАШИН ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ ЗЕРНА, ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЯ	191
8.1. Електропривід зерноочисних агрегатів	191
8.2. Система централізованого контролю і керування машинами та механізмами агрегату ЗАВ-25	192
8.3. Автоматизація керування процесом сушіння зерна	198
9. ЕЛЕКТРОПРИВІД МОБІЛЬНИХ МАШИН ТА АГРЕГАТІВ	203
9.1. Способи живлення електроприводів мобільних машин	203
9.2. Класифікація електромобільних машин	206
9.3. Електромобільні машини у рільництві	207
9.4. Електромобільні машини у тваринництві	213
9.5. Визначення потужності і типу електродвигунів для привода мобільних кормороздавачів	217
10. ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕРСТАТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА СТЕНДІВ	220
10.1. Привідні характеристики металообробних верстатів. Вимоги до електропривода	220
10.2. Привідні характеристики деревообробних верстатів. Вимоги до електропривода	226
10.3. Особливості схем керування дерево- і металообробними верстатами та їх автоматизація	231
10.4. Вибір типу і потужності електродвигуна для обкатних стендів	238
10.5. Режими роботи електродвигуна обкатних стендів, автоматизація, економія енергії	241
11. ЕЛЕКТРОПРИВІД ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ	247
11.1. Особливості вибору електропривода поточкових ліній у різних галузях сільського господарства	247
11.2. Електропривід малогабаритної комбікормової установки УМК-Ф-2	250
11.3. Електропривід кормороздавача РКА-2000	256
11.4. Електропривід поточкових ліній на птахфермах	258
11.5. Надійність систем електропривода поточкових ліній	261

12. МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	262
12.1. Вимірювальна апаратура для експериментальних досліджень електроприводів	262
12.2. Методика оцінки електроприводів	264
12.3. Експериментальні методи одержання привідних характеристик машин	274
12.3.1. Експериментальне визначення моменту зрушення робочої машини	274
12.3.2. Експериментальні методи визначення моменту інерції системи електродвигун — робоча машина	275
12.3.3. Експериментальне визначення механічної характеристики робочої машини	276
12.3.4. Випробування електроприводів на підприємствах-виготовлювачах	278
Додаток	280
Список рекомендованої та використаної літератури	284

Навчальне видання

*Жулай Євген Лаврентійович
Зайцев Борис Володимирович
Лавріненко Юрій Миколайович
Марченко Олександр Савович
Войтюк Дмитро Григорович*

Електропривід

**СІЛЬСЬКО—
ГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН, АГРЕГАТІВ
ТА ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ**

За редакцією кандидата технічних наук
Жулая Євгена Лаврентійовича

Оправа і титул художника *В. С. Жиборовського*
Комп'ютерна верстка *Л. М. Кіпріянової*

Підписано до друку 27.06.2001 р. Формат 60 × 84/16.
Папір офс. № 1. Гарнітура Schoolbook. Офс. друк.
Друк. арк. 18,00. Обл.-вид. арк. 19,31.
Зам. 2661. Наклад 2000 прим.

Видавництво “Вища освіта”,
Київ-110, вул. В. Василевської, 13, корп. 1

Надруковано з плівок, виготовлених у видавництві “Вища освіта”,
у Фастівському державному поліграфічному підприємстві “Поліфаст”
08500 м. Фастів Київської обл.