

# Лекція № 11 ЕЛЕКТРОПРИВОД ВЕРСТАТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА СТЕНДІВ

План:

- 1. Приводні характеристики металообробних верстатів та вимоги до їх електропривода;*
- 2. Приводні характеристики деревообробних верстатів та вимоги до їх електропривода;*
- 3. Особливості схем керування дерево- і металообробними верстатами та їх автоматизація;*
- 4. Вибір типу і потужності електродвигуна для обкатних стендів;*
- 5. Режими та автоматизація роботи електропривода обкатних стендів;*

## **1. Приводні характеристики металообробних верстатів та вимоги до їх 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.

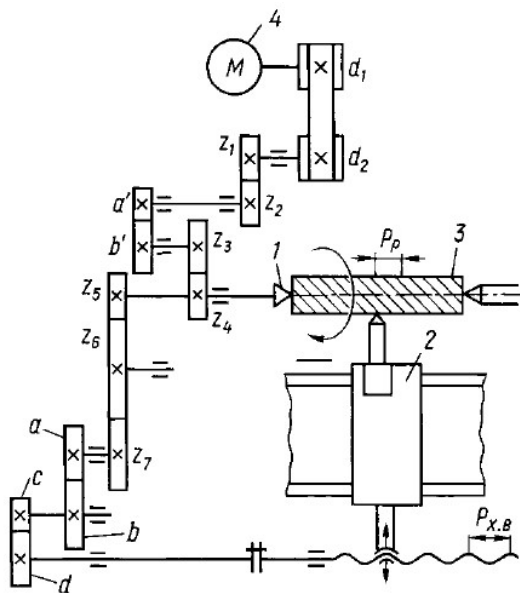
У верстатів токарної групи головним рухом є обертання заготовки; у фрезерних, шліфувальних та свердлильних - обертання інструмента, у довбальних - зворотно-поступальний рух інструмента, у поздовжньо-стругальних - зворотно-поступальний рух заготовки.

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 багатошвидкісні електродвигуни та двигуни постійного струму.

Сучасні металорізальні верстати мають індивідуальні або багато-двигунові 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.



1 - шпиндель; 2 - супорт; 3 - деталь, що обробляється; 4 - електродвигун

Рис. 10.1. Спрощена кінематична схема токарно-гвинторізного верстата:

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 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 зі 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:

$$P_p = F_p \cdot v, \quad (10.1)$$

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  $\eta$  - 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  $P_{\Pi}$ , Вт, при різанні визначають за виразом:

$$P_{\Pi} = \frac{F_{\Pi} v_{\Pi}}{60}, \quad (10.5)$$

де  $F_{\Pi}$  - зусилля подачі при різанні, Н;  $v_{\Pi}$  - швидкість подачі, мм/хв.

Зусилля подачі при різанні знаходять за формулою

$$F_{\Pi} = kF_x + (9,81 m + F_p)f, \quad (10.6)$$

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,  $P_x \approx 0,001F_p$ .

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  $\omega$  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.

Обертний 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:

$$v_{св} = \frac{C_v d^{q_v}}{T^m S^{y_v}},$$

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.

Обертний 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

$$P_{дв} = \frac{P_{різ}}{\eta_v}, \quad (10.13)$$

де  $\eta_v$  - 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  $P_K$ , Вт, яка витрачається на обертання шліфувального круга, визначається за виразом

$$P_K = F_{різ} v_K, \quad (10.14)$$

де  $F_{різ}$  - зусилля різання, Н;  $v_K$  - 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

$$P_{\text{дет}} = F_{\text{різ}} \cdot v_{\text{дет}}. \quad (10.16)$$

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  $\eta$  - 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;  $\eta$  - 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.

## 2. Приводні характеристики деревообробних верстатів та вимоги до їх 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, кругло-пильних, фугувальних, стругальних, фрезерних, свердлильних та інших верстатів.

Лісопильні 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 лісопильної рами залежить від діаметра колоди, кількості пилок, подачі, частоти обертання привідного вала та ходу пиляльної рами.

Для привода лісопильної 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:

$$M_c = M_{\text{стах}} \sin\varphi, \quad (10.20)$$

де  $M_{\text{стах}}$  - амплітудне значення моменту статичних опорів, Н•м;  $\varphi$  - кут повороту приводного 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:

$$M_{\text{пуск}} > M_{\text{стах}} \quad (10.21)$$

Потужність привода,  $P$ , кВт, при конструюванні пилорами визначається залежно від продуктивності:

$$P = P_{\text{різ}} + P_{\text{п}} + 1,1 P_{\text{х.х}} \quad (10.22)$$

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

$$P_{\text{різ}} = F_{\text{різ}} \cdot v, \quad (10.23)$$

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/мм<sup>2</sup>;  $b$  - ширина пропилу, мм;  $\Delta$  - подача, мм;  $H$  - хід пиляльної рами, мм;  $\sum h$  - сума висот пропилів, яка вимірюється посередині пропилу колоди, мм. Підраховується за формулою

$$\sum h = 0,75 D_{\text{ср}} z, \quad (10.25)$$

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;  $\sigma$  - коефіцієнт розрихлення 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:

$$t = \sqrt{\frac{\sigma}{Q} E S h}, \quad (10.27)$$

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

$$v_{\max} = \omega R = \frac{\pi D n}{60}. \quad (10.29)$$

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 кочення;  $k_{\text{п}} = 1,44$  - коефіцієнт для пилорам на підшипниках ковзання;  $m$  - 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.

Кругло-пилні 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.

$$F_{\text{різ}} = kbHv_{\text{п}}, \quad (10.34)$$

де  $k$  - питоме зусилля різання, яке визначається за таблицями та номограмами, Н/мм<sup>2</sup>,  $k = 10 - 46$ ;  $b$  - 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:

$$v_{\text{п}} = \frac{v_z Z \omega}{\pi 2000},$$

де  $v_z$  - подача на один зуб, мм;  $Z$  - число зубів пилки;  $\omega$  - кутова швидкість пилки, 1/с.

У кругло-пильних верстатах швидкість різання являє собою швидкість передніх різальних кромки і становить:

$$v_{\text{різ}} = \omega \cdot R, \quad (10.36)$$

де  $R$  - радіус пилки, м.

На круглих пилах швидкість різання, як правило, становить 40- 70 м/с.

Потужність подачі  $P_{\text{п}}$ , Вт, визначається за виразом:

$$P_{\text{п}} = F_{\text{п}} \cdot v_{\text{п}}, \quad (10.37)$$

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;  $\varphi$  - 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:

$$F_{\text{різ}} = \frac{k b h v_{\text{п}}}{v_{\text{різ}}},$$

де  $k$  - питомий опір різанню, Н/мм<sup>2</sup>;  $b$  - 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.

### **3. Особливості схем керування дерево- і металообробними верстатами та їх автоматизація**

Сучасні вертикальні лісопильні рами приводяться в дію від двох електродвигунів: від одного, найбільш потужного - кривошипний вал, від іншого - механізм подачі. У лісопильних рамах пізніших конструкцій є третій електродвигун для привода гідронасоса. Приводний вал лісопильної рами зв'язаний з приводним двигуном, як правило, за допомогою пасової передачі. Залежно від типу рами частота обертання кривошипного валу становить 200-500 об/хв.

Для того, щоб за умов динамічного навантаження хід був рівномірнішим, лісопильні рами оснащують маховиками, однак це погіршує умови їх пуску.

Привод кривошипного валу здійснюється від асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим ротором.

При пуску пилорами 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  $KM2$ ,  $KM3$  і  $KM4$ . Натисканням на кнопку  $SB2$  подають напругу на котушку лінійного контактора  $KM1$ . Останній головними контактами вмикає обмотку статора двигуна  $M$  у мережу, допоміжним контактом  $KM1.1$  шунтує контакт кнопки  $SB2$ , контактом  $KM1.2$  готує до роботи кола котушок контакторів прискорення, а контактом  $KM1.3$  знеструмлює котушку реле часу  $KT1$ .

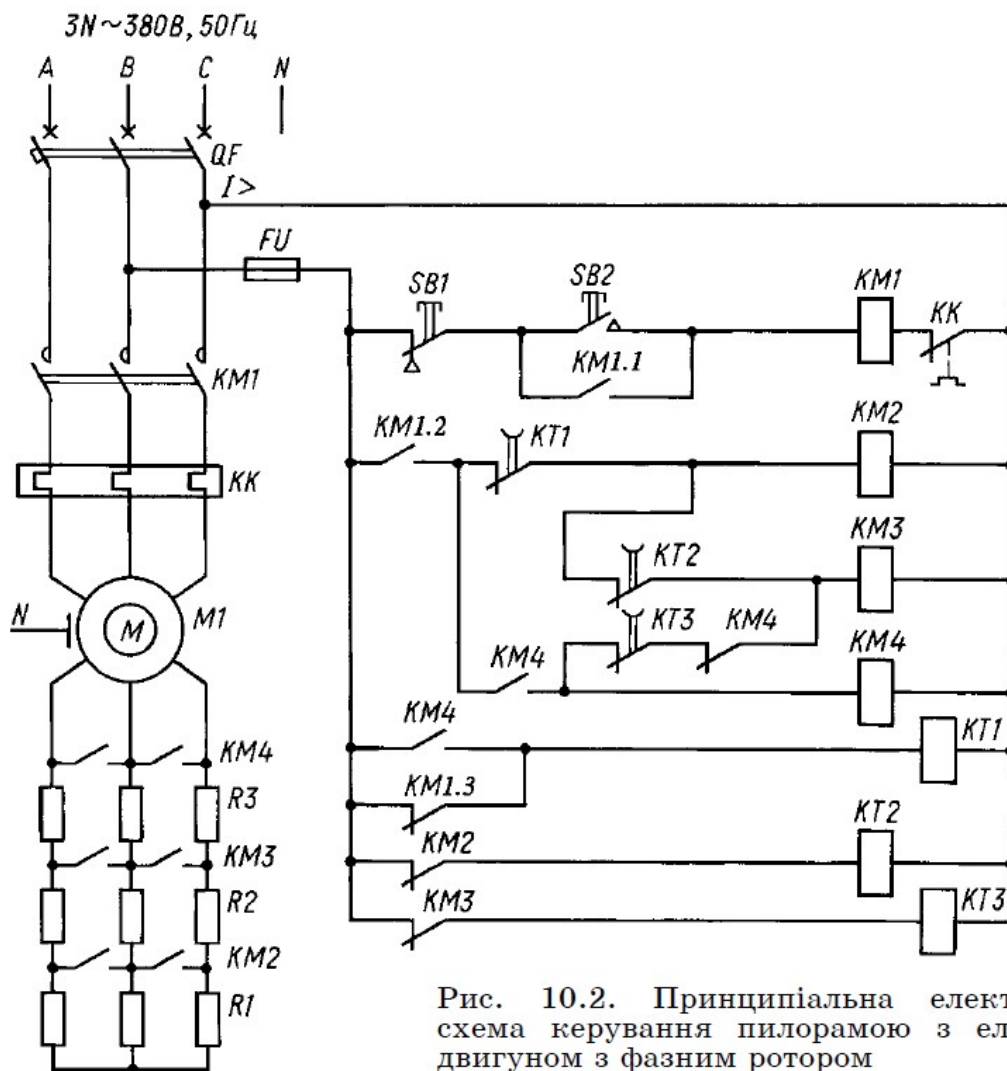


Рис. 10.2. Принципіальна електрична схема керування пилоравою з електродвигуном з фазним ротором

Рис. 10.2. Принципіальна електрична схема керування пилоравою з електродвигуном з фазним ротором

Двигун запускається з повністю введеним в коло ротора пусковим резистором. Після закінчення витримки часу реле  $KT1$  своїм контактом замикає коло котушки контактора  $KM2$ , який головними контактами шунтує перший ступінь  $R1$  пускового резистора, а допоміжним розмикаючим знеструмлює реле часу  $KT2$ . Останнє вмикає контактор  $KM3$ , головні контакти якого шунтують другий ступінь  $R2$  резистора. Аналогічно спрацьовує контактор  $KM4$  і замикає накоротко виводи обмотки ротора двигуна. Одночасно через замикаючий допоміжний контакт  $KM4$  вмикається реле

часу *KT1*, яке знеструмлює котушки контакторів *KM2* і *KM3*. Для зупинки двигуна натискають на кнопку *SB1*. Захист від коротких замикань здійснюють автоматичний вимикач *QF* і запобіжник *FU*, захист двигуна від перевантажень - теплове реле *KK*.

Схему керування пилоравою з асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором наведено на рис. 10.3.

При натисканні на кнопку *SB3* одержує живлення котушка магнітного пускача *KM2*, який вмикає електродвигун приводи гідронасоса. Замикаючий контакт *KM2* готує до вмикання котушку магнітного пускача *KM1*. 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.

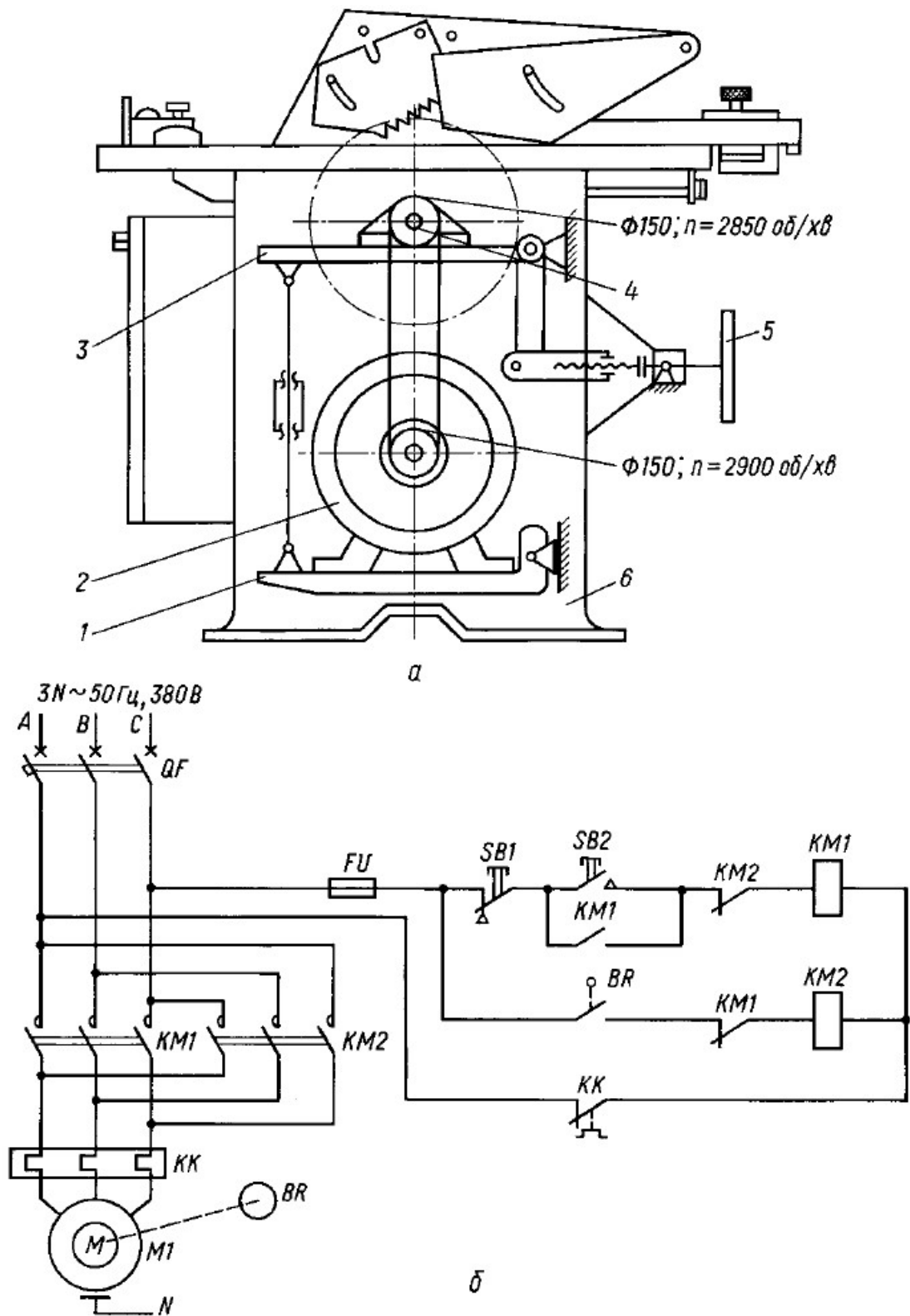
Перед пуском головного двигуна натисканням кнопки *SB4* вмикається сирена *HA* та проміжне реле *KV1*, контакти якого шунтують пускову кнопку *SB4*. Через певний час натисканням кнопки *SB6* подають струм на котушку пускача *KM1*, який вмикає основний двигун. Розмикаючі контакти *KM1* вимикають сирену *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 закінчується. 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 лісопилні 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.





*a* - кінематична схема; *б* - принципальна електрична схема; 1 - підмоторна плита; 2 - електродвигун; 3 - плита пиляльного вала; 4 - пиляльний вал; 5 - ручний привод (маховик); б - станина

Рис. 10.4. Електропривід круглопилевого верстата:

Керування кругло-пилею верстатом (рис. 10.4, б) здійснюється за допомогою кнопок SB2 “Пуск” та SB1 “Стоп”. Для швидкої зупинки верстата використовується гальмування проти-вмиканням. 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 обертанню 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 вимикач *S3* розмикають, а вимикач *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 вимикач *S1*, а вимикачем *S2* вмикають випрямляч, через який одержують живлення електромагніт *YA* електромагнітної плити та реле *KV*, що контролює зникнення або значне зниження напруги. За умов спрацювання реле *KV* замикаються його замикаючі контакти в колі котушки магнітного пускача *KM*, готуючи його до роботи. Поперечне пересування шліфувального круга обмежується кінцевим вимикачем *SQ1* та одним з упорів обмеження поперечного ходу верстата.

Двигуни верстата зупиняються натисканням на кнопку *SB1*.

Зняття деталі з електромагнітної плити можливе тільки після відключення електромагніту *YA* від мережі.

У нашій країні і за кордоном широко використовується токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.





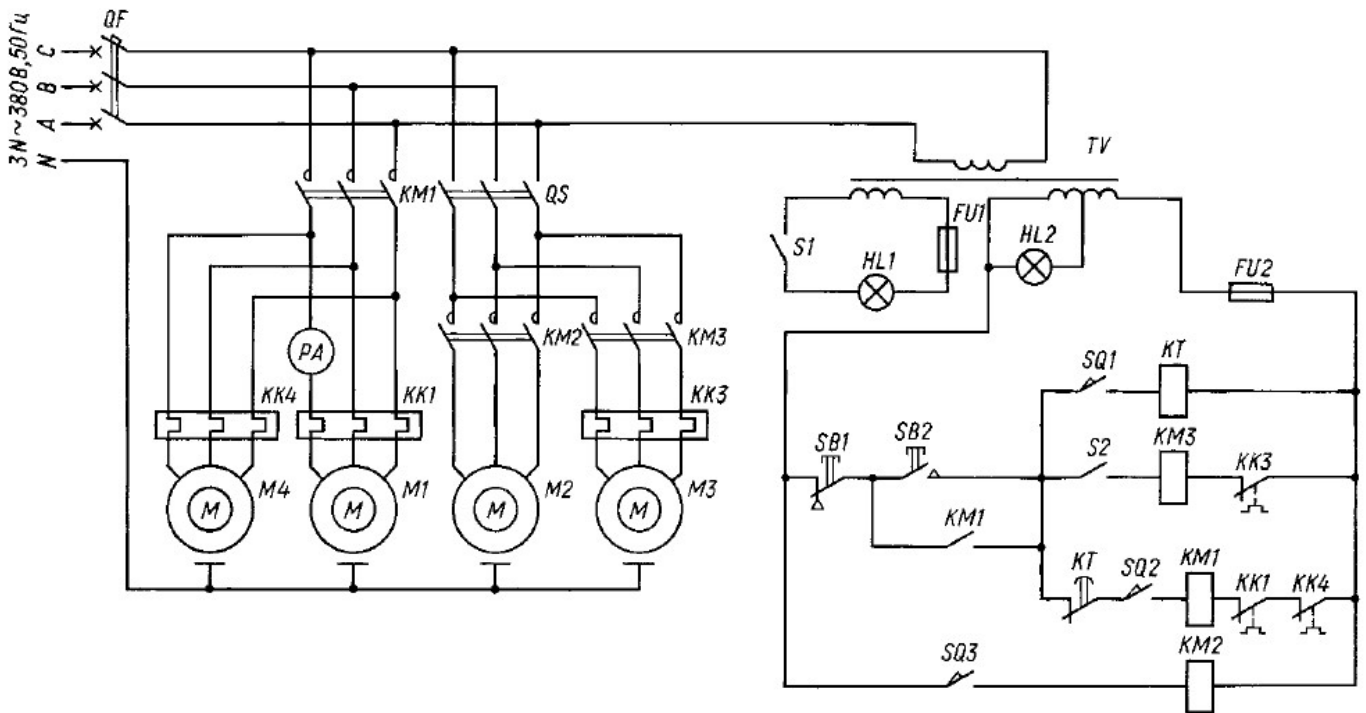


Рис. 10.6. Принципіальна електрична схема токарно-гвинторізного верстата 16K20

Для обмеження холостого ходу електродвигуна М1 у схемі є реле часу *KT*. У середньому (нейтральному) положенні рукоятки вмикання фрикційної муфти головного привода замикається замикаючий контакт кінцевого вимикача *SB1* і вмикається реле часу *KT*. Якщо тривалість холостого ходу перевищує встановлений час, то розмикаючі контакти реле часу *KT* розмикають коло котушки магнітного пускача *KM1* і електродвигун *M1* вимикається. Вмикання головного електродвигуна можливе у тому випадку, якщо закритий кожух змінних коліс і контакти кінцевого вимикача *SB2* замкнені. Схемою передбачене вмикання тумблером *S1* лампи *HL1* для освітлення робочої зони верстата. Наявність напруги керування магнітних пускачів контролюється сигнальною лампою *HL2*. Від перенавантажень електродвигуни захищені тепловими реле *KK1*, *KK3*, *KK4*.

#### 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 припрацювання 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 згорання приводиться в дію від електродвигуна, при гарячій обкатці двигун внутрішнього згорання обертає електродвигун, який є гальмом.

Показник	Одиниця виміру	Марка двигуна				
		СМД-60	Д-240	Д-21А1	ГАЗ-542-10	СМД-62
Потужність ДВЗ	кВт	115	76	18	92	100
Номінальна 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 привод 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 балансірна 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  $F$ ,  $N$ , яке розвивається гальмом. Стенд має також тахогенератор, за допомогою якого вимірюється частота обертання електродвигуна.

Якщо знати плече важеля, то можна визначити момент  $M$ ,  $N \cdot m$ , який розвиває двигун:

$$M = Pl, \quad (10.40)$$

де  $l$  - плече важеля, яке з'єднує корпус двигуна з ваговим механізмом,  $m$ .

Потужність стенда  $P$ ,  $Вт$ , можна визначити за виразом

$$P = M\omega, \quad (10.41)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість ротора електродвигуна,  $1/с$ .

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 металоємні, 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  $P_{нд}$  вибирають, виходячи з умов забезпечення гальмівної потужності  $P_{н.двз}$  яка розвивається двигуном внутрішнього згоряння, що працює у режимі гарячої обкатки, тобто:

$$P_{нд} \geq P_{н.двз}$$

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.

## **5. Режими та автоматизація роботи електропривода обкатних стендів**

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.

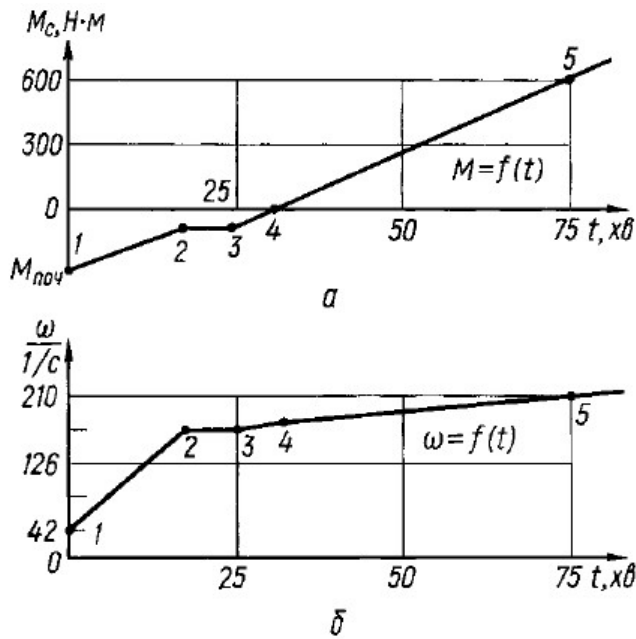


Рис. 10.7. Графік обкатки двигунів внутрішнього згоряння: *a* - зміна моменту; *б* - зміна швидкості

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 згоряння 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,



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  $\omega_6$  повинна забезпечити номінальну швидкість обертання двигуна внутрішнього згорання, а навантажувальний момент  $M_6$  - становити 90-95 % від номінального моменту ДВЗ. Таким чином, точка *б* визначається паспортними даними, а точка *5* - графічною побудовою. Для цього проводять пряму через точку *б* та  $\omega_6$  до перетину з механічною характеристикою стенда. Швидкість електродвигуна буде збільшуватися за рахунок зменшення опору рідинного резистора до точки *5*. У точці *5* двигун внутрішнього згорання заведеться, швидкість його зросте до синхронної і від швидкості  $\omega_0$  до  $\omega_6$  електродвигун працюватиме в генераторному режимі з віддачею енергії в мережу. У точці *б* подача пального припиниться і обкатка двигуна внутрішнього згорання закінчиться.

При холодній обкатці ДВЗ, коли електродвигун працює у рушійному режимі, електрична енергія, яка споживається з мережі, поділяється на три частини: одна частина витрачається на подолання опору двигуна, що обкатується, друга надходить до регулювального 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

$$A_1 = \frac{M_x \omega_{dx} t_x 10^{-3}}{\eta_d},$$

де  $M_x$  - момент електродвигуна при холодній обкатці ДВЗ, Н•м;  $\omega_{dx}$  - кутова швидкість двигуна при холодній обкатці, рад/с;  $t_x$  - тривалість холодної обкатки, год;  $\eta_d$  - ККД двигуна.

Кількість електричної енергії  $A_2$ , кВт•год, яка повертається до мережі в умовах гарячої обкатки ДВЗ з навантаженням, визначається за формулою

$$A_2 = M_r \omega_{dr} t_r \eta_{др} 10^{-3}, \quad (10.43)$$

де  $M_r$  - момент електродвигуна при гарячій обкатці ДВЗ, Н•м;  $\omega_{dr}$  - кутова швидкість при гарячій обкатці ДВЗ, рад/с;  $t_r$  - тривалість гарячої обкатки ДВЗ під навантаженням, год;  $\eta_{др}$  - 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:

$$\eta_p = \frac{A_2}{A_1}. \quad (10.44)$$

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 регульовального 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 з мережі і віддається до неї при обкатці двигунів, визначають за допомогою лічильника. При холодній обкатці двигунів він рахує витрату енергії з мережі, а при гарячій - повернення її до мережі. У першому випадку диск лічильника 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 згорання використовують електродвигун М1 з фазним ротором, для насоса, що перемішує рідину в резисторі - асинхронний електродвигун М2 з короткозамкненим ротором, для рідинного резистора і подачі пального - виконавчі механізми типу ВМ-2-120 з двигунами М3 і М4 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 М3 і М4 і встановлюють механізми у вихідне положення.

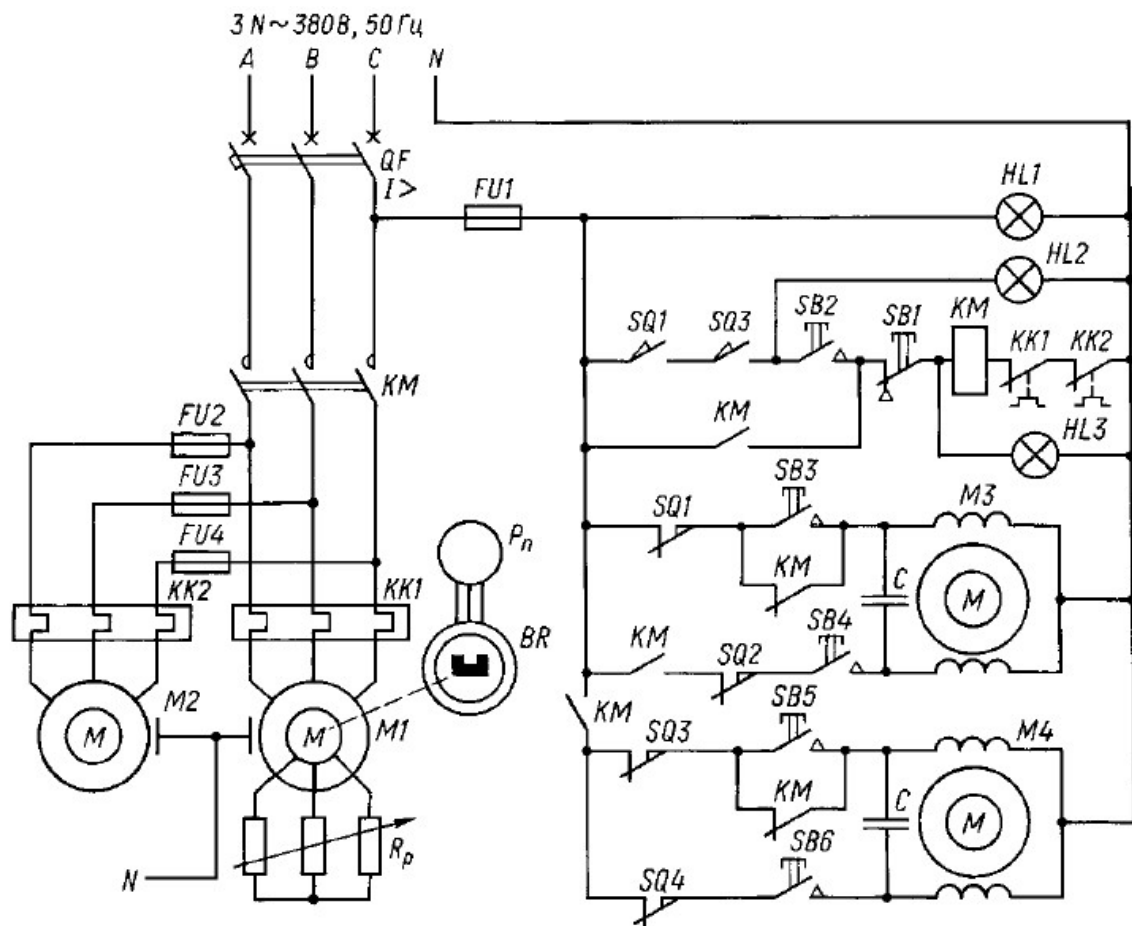


Рис. 10.9. Принципіальна електрична схема керування обкатно-гальмівним стендом

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 МЗ зупиняється.

Принцип роботи схеми керування двигуном М4 привода тяги подачі пального аналогічний.

Щоб швидко зупинити двигуни М1 і М2 станда, натискають на кнопку *SB1*. При цьому вимикаються з мережі двигуни М1 і М2, знімається живлення з кола керування двигуном М4. Через розмикаючий контакт *КМ*, що замкнувся, вмикається двигун МЗ привода електродів резистора і працює доти, поки електроди не досягнуть крайнього верхнього положення і не розімкнеться контакт - *SQ1*.

Для уповільнення зупинки двигунів станда 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 усуваються небажані коливання електродвигуна і вагового механізму станда.

Для переведення станда в режим гарячої обкатки ДВЗ вручну або двигуном М4 переміщують тягу подачі пального. При цьому двигун М4 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 М4.

Захист від коротких замикань здійснюють автоматичний вимикач *QF* і плавкі запобіжники *FU1-FU4*. Двигуни М1 і М2 від перевантажень захищають реле *KK1* і *KK2*.

### Питання для самоконтролю:

1. В яких режимах працює електродвигун обкатного станда при гарячому і холодному обкатуванні двигуна внутрішнього згорання?
2. Які особливості приводних характеристик обкатних стендів?
3. Які двигуни застосовуються в обкатних стандах і як регулюється кутова швидкість електродвигуна головного привода?
4. Назвіть головні механізми металообробного верстата.
5. Які особливості приводних характеристик металообробних верстатів?
6. Як побудувати навантажувальну діаграму металообробного верстата?
7. Які електродвигуни застосовуються для привода металообробних верстатів?
8. Які особливості приводних характеристик деревообробних верстатів?
9. Які електродвигуни застосовуються для привода деревообробних верстатів?
10. Назвіть особливості приводних характеристик лісопильної рами?