

**СВИЛЕН РАЧЕВ
ДИМИТРИНА КОЕВА
ЛЮБОМИР ДИМИТРОВ**

ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ

**СВИЛЕН РАЧЕВ
ДИМИТРИНА КОЕВА
ЛЮБОМИР ДИМИТРОВ**

ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ



УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО
“ВАСИЛ АПРИЛОВ”
ГАБРОВО, 2022

Настоящият учебник е предназначен за студенти от специалности „Електроенергетика и електрообзавеждане” и „Електроснабдяване и електрообзавеждане” от образователно-квалификационна степен „Бакалавър” по дисциплините „Електрообзавеждане” и „Електрообзавеждане на производствени машини и процеси” при факултет „Електротехника и електроника” на ТУ – Габрово, за студенти от специалности „Хидравлична и пневматична техника” и „Отоплителна, вентилационна, климатична и газова техника” от образователно-квалификационна степен „Бакалавър” по дисциплината „Електрозадвижаване и електрообзавеждане” при факултет „Машиностроене и уредостроене” на Технически университет – Габрово.

Обхванати са основни въпроси, свързани с дисциплините.

Учебникът може да е полезен за обучението на студенти и от други специалности, както и докторанти и дипломирани специалисти и проектанти, занимаващи се с електрообзавеждане.

Поради ограничения обем на учебника много въпроси, свързани с развитието на електрообзавеждането са разгледани сравнително кратко, а други не са включени в съдържанието му.

© Свилен Рачев – автор, 2022

© Димитрина Коева– автор, 2022

© Любомир Димитров– автор, 2022

ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ

Рецензент: проф. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов

© Университетско издателство „Васил Априлов” – Габрово, 2022

ISBN 978-954-683-673-1

Scientia sit potentia (Знанието е сила, лат.)

МОДУЛ І
Електрообзаведане

Тема 1. ИЗБИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ ПО НОМИНАЛНИ ДАННИ И ТИП

I. Избиране на електрически двигатели по номинално напрежение и вид на тока

Най-често електрическите двигатели се избират за променлив ток (АС – alternating current) с промишлена честота 50 Hz.

1) Стойности на напрежението: АС ($\sim U$): 230/400 V; 500 V; 660 V; 3 kV; 6 kV; 10 kV.

- Най-разпространено напрежение: 230/400 V;
- 500 V – при багери за открити разработки и в строителството; в този случай е необходим самостоятелен трафопост за електро-снабдяване;
- 660 V – остава в перспектива;
- Най-използвано средно напрежение: 6 kV;
- 10 kV – остава в перспектива;
- 3 kV – при багери към самостоятелен трафопост;
- 25 kV – при железопътен транспорт.

2) Стойности на напрежението: DC ($- U$): 110 V; 220 V; 400 V.

- 600 V – при тролейбуси и трамваи;
- 850 V – при метро;
- 40, 80 V – при електрокари;
- 48; 60; 72; 120; 136; 144; 300; 350 V – при електромобили.

Понастоящем произвежданите електрически двигатели са с посочените по-горе номинални стойности на напреженията, но все още в експлоатация са налични и такива, проектирани за старите стойности на ниско напрежение (220/380 V – до 2007 г.).

II. Избиране на електрически двигатели според начина на регулиране на честотата на въртене

1. *Нерегулируеми:* асинхронни електрически двигатели с накъсосъединен ротор, синхронни електрически двигатели.

2. *Стъпално регулируеми (с няколко честоти на въртене):* асинхронни електрически двигатели с превключване на намотките (секционирани намотки), двускоростни и многоскоростни електрически двигатели.

3. *Плавно регулируеми:*

- чрез резистори – регулирането е за сметка на загубите (във вид на топлина) и енергийно неефективно;
- чрез изменение на: напрежението U , честотата f , магнитния поток Φ , векторно, импулсно и чрез ориентация на магнитното поле; това регулиране е без загуби.

III. Избиране на електрически двигатели по тип

1. *Асинхронни електрически двигатели с накъсосъединен ротор*

Представяват над 90% от всички електрически двигатели в индустрията.

Предимства: прости по устройство и управление, сигурни в експлоатацията, с най-малко специфично тегло за единица мощност, с малки

габаритни размери, евтини, лесно се захранват. Намират все по-голямо приложение, поради възможността за честотно управление и регулиране на скоростта.

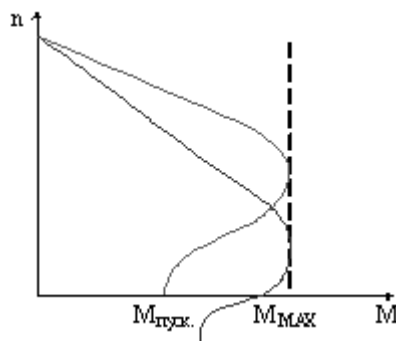
Недостатъци: пусково-регулирущите им характеристики не са много добри, т.к. пусковият момент ($m_{\pi}=1,6\div2,3$) е малък, а пусковият ток ($i_{\pi}=3\div7$) е голям, но тези недостатъци са търпими.

2. Асинхронни електрически двигатели с навит ротор

Имат приложение при крановите механизми и лентови транспортъори.

Предимства: чрез изменение на включените към ротора резистори, се регулират честотата на въртене и пусковият момент, който може да се доведе близък до максималния (фиг. 1.1).

Недостатъци: сложна конструкция, наличие на триещ четков апарат, по-голямо тегло, размери и цена, енергонеефективни, поради наличието на пусково-регулирущи резистори.



Фиг. 1.1. Пусков момент на асинхронен електрически двигател с навит ротор

3. Синхронни електрически двигатели

Имат широко приложение в случаите, когато не се изисква регулиране на честотата на въртене и пусканията са редки. Оправдано е използването им при мощности над 250 kW. Най-често са за средно напрежение 6 kV. Използват се главно при спокойни товари, но и при бързопроменливи – напр. бутални компресори и др.

Предимства: имат висок к.п.д., позволяват регулирано производство на реактивна енергия, служат за подобряване на фактора на мощността.

Недостатъци: сложни по устройство и по-скъпи спрямо асинхронните.

4. Постояннотокови електрически двигатели

Намерили са приложение там, където е наложителна регулируема честота на въртене и регулиране на преходните процеси.

Предимства: лесно се регулират, могат да връщат електрическа енергия обратно в захранващата мрежа в генераторен режим, т.нар. рекуперация (пример: движещ се т по надолнище тролейбус), допускат претоварване повече от асинхронните електрически двигатели.

Недостатъци: сложна конструкция за обслужване и ремонт, наличие на колектор и комутационен апарат (предполага триене и износване), големи размери, тегло и цена.

Табл. 1.1. Сравняване на типовете електрически двигатели

Тип на двигателя	Асинхронен с нахъсосъединен ротор		Асинхронен с навит (фазов) ротор	Синхронен с възбудителна намотка	Синхронен с постоянни магнити	Стъпков	Постоянноток
	трифазен	еднофазен					
Цена на двигателя	ниска	ниска	висока	висока	висока	ниска	висока
Херметичност	стандарт	възможна	скъпа опция	скъпа опция	стандарт	стандарт	възможна, но много скъпа
Директно пускане	просто	просто	специално пусково устройство	невъзможно при мощност над няколко kW	не се прилага	не се прилага	не се прилага
Регулиране на скоростта	просто	рядко	възможно	често	винаги	винаги	винаги
Цена на решението за регулиране на скоростта	най-изгодна	много изгодна	изгодна	изгодна	много изгодна	много изгодна	много изгодна
Качество на регулирането на скоростта	от високо до много високо	много ниско	средно	високо	много високо	от средно до високо	от високо до много високо
Режим	постоянна или променлива скорост	най-често постоянна скорост	постоянна или променлива скорост	постоянна или променлива скорост	променлива	променлива	променлива
Използване в индустрията	универсално	за малки мощности	намалява	висока мощност при средно напрежение	високи динамични показатели	възможна система за позициониране при малки мощности	намаляващо

Табл. 1.2. Справочна таблица за пускане на трифазен асинхронен двигател

	Директно включване	везла / рибълник	С превключване на част от намотката	С резистори	С автотрансформатори	АД с навит ротор	Устройства за плавно пускане	Преобразуватели на честота
Двигатели	стандартен	стандартен	с 6 намотки	стандартен	стандартен	специален	стандартен	стандартен
Цена	+	++	++	+++	+++	+++	+++	++++
Пусков ток*	(5÷10).RC	(2÷3).RC	2.RC	~4,5.RC	(1,7÷4).RC	~ 2.RC	(4÷5).RC	RC
Кратковременен спад на напрежението	голям	голям при смяна на схемата на включване	слаб	слаб	слаб при спазване на ограниченията DOL***	слаб	слаб	слаб
Хармонични съставлящи на напрежението и тока	високи	средни	средни	средни	средни	ниски	високи	високи
Коефициент на мощност	нисък	нисък	среден	среден	нисък	среден	нисък	висок
Брой възможни пускания	ограничен	2÷3 пъти по-голям от DOL***	3÷4 пъти по-голям от DOL	3÷4 пъти по-голям от DOL	3÷4 пъти по-голям от DOL	2÷3 пъти по-голям от DOL	ограничен	голям
Разполагам въртящ момент**	~ 2,5.RT**	(0,2÷0,5).RT	2.RT	RT	~ 0,5.RT	~ 2.RT**	~ 0,5.RT	(1,5÷2).RT
Топлинно натоварване	много високо	високо	умерено	високо	умерено	умерено	умерено	ниско
Механически удар	много висок	умерен	умерен	умерен	умерен	нисък	умерен	нисък
Товар	произволен	без товар	нарастващ момент	помпи и вентилатори	помпи и вентилатори	произволен	помпи и вентилатори	произволен
Високоинерционни товари	да	не	не	не				

*RC (Rated Current) – номинален ток; **RT (Rated Torque) – номинален момент; ***DOL (Direct on Line) – директно включване в мрежата.

Тема 2. ЗАГРЯВАНЕ И ОХЛАЖДАНЕ, РЕЖИМИ НА РАБОТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ

I. Загриване и охлаждане на електрическите двигатели

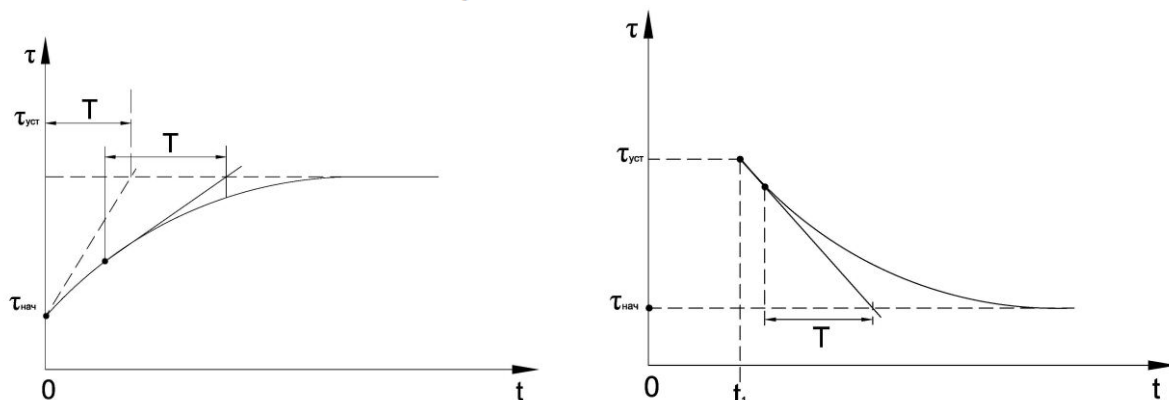
При работата на електрическите двигатели, при преобразуването на електрическата енергия в механична и обратно (спирачни режими), вследствие на загубите на електрическа енергия, се отделя топлина, която ги загрява. Част от топлината се отделя в околната среда. При определена температура се достига до топлинно равновесие, при което количеството отделена топлина в двигателя е равна на количеството отделена енергия в околната среда.

При това температурно равновесие температурата на електрическия двигател достига установената си стойност $\theta_{уст}$ и повече не се изменя, при условие че натоварването на двигателя и загубите на енергия остават постоянни.

При постоянно количество отделена от електрическия двигател топлина и постоянни условия за охлаждане, температурата θ се изменя във времето от начална стойност $\theta_{нач}$ до установена стойност $\theta_{уст}$ по експоненциален закон:

$$\theta = \theta_{нач} + (\theta_{уст} - \theta_{нач}) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) - \text{загриване}$$

$$\theta = \theta_{нач} + (\theta_{уст} - \theta_{нач}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} - \text{охлаждане}$$



Фиг. 2.1. Криви на загряване и охлаждане на електрическите двигатели

Времеkonстантата T е различна при охлаждане и загряване (фиг.2.1), от порядъка на 10 минути. Стойността ѝ зависи от това дали двигателят е спрял или се охлажда принудително. Установената температура при загряване или началната при охлаждане практически се достига за време, равно на $3 \div 4 T$.

II. Режими на работа на електрическите двигатели

Продължителността на работа или продължителността при изключено състояние на електрическия двигател, а също големината и изменението на натоварването, отразени в товарния график, определят режима на работа.

Режимът на работа е състояние на натоварване (натоварвания), на което въртящата електрическа машина е подложена, включително ако е необходимо пускане, електрическо спиране, празен ход и покой, с тяхната продължителност и последователност във времето [16].

Основните режими на работа на електрическите двигатели са:

- режим на празен ход – валът на електрическия двигател не е натоварен, роторът се върти с честота n_0 и не се извършва полезна работа;
- работен режим (работа под товар) – към вала на електрическия двигател има приложен съпротивителен момент, който намалява честотата на въртене, а хлъзгането се увеличава;
- режим на късо съединение – валът на електрическия двигател е неподвижен. Честотата на въртене на ротора е $n=0$, а хлъзгането – $s=1$.

Международната електротехническа комисия (IEC – International Electrotechnical Commission) използва обозначения (категории) на работни цикли (режими) S1 ... S10, за да се опишат условията на работа на електрическите двигатели (IEC 60034 и VDE0530, Part 1).

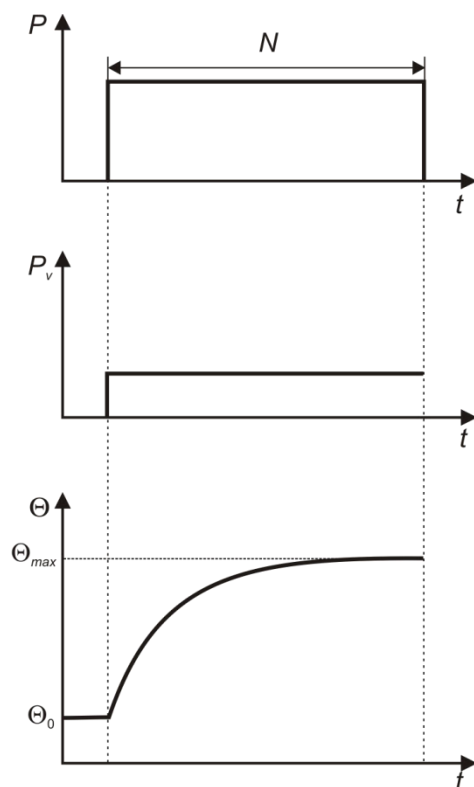
Режим S1 - Непрекъснат режим (фиг.2.2)

Електрическият двигател работи при постоянно натоварване и при достатъчно време за достигане на равновесна температура. Когато не е посочен от производителя, работният режим на даден електрически двигател се приема за непрекъснат.

Най-често електрическите двигатели работят в този режим. Той се характеризира още с малък брой включвания за час – до 6. Краткотрайните по време претоварвания (до 1 min) с големина $(15\div 20)\%$ спрямо номиналното не се вземат под внимание. В режим S1 работят обикновено помпи, транспортни ленти, мелници, дробилки и др.

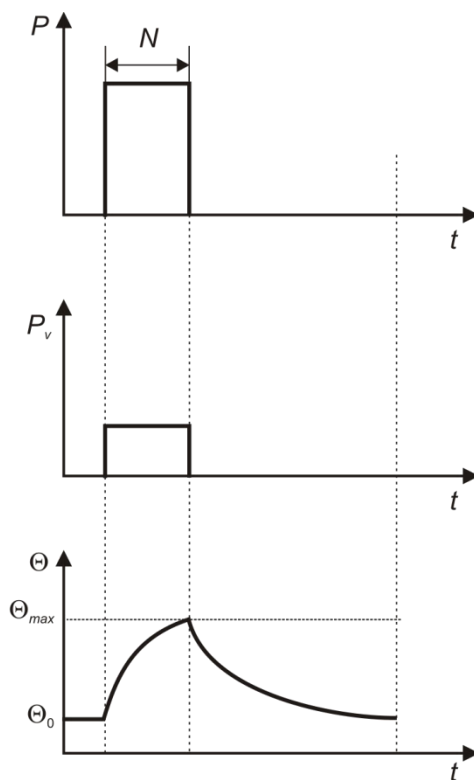
Режим S2 - Кратковременен режим (фиг.2.3)

Електрическият двигател работи при постоянно натоварване, но не достатъчно дълго, за да се получи температурно равновесие. Периодът на покой е достатъчно дълъг, за да се достигне околна температура. Препоръчителните стойности за този режим са 10, 30, 60 и 90 min. Например може да се обозначи S2 60 min. В този режим работят най-често асинхронни електрически двигатели, задвижващи различни изпълнителни механизми в машиностроенето и металообработването, химическата и фуражната промишленост, земеделието и др.



Фиг. 2.2. Към непрекъснат режим на работа:

P – натоварване; P_v – електрически загуби; Θ_0 , Θ_{max} – температура, съответно на околната среда и максимално достигната; N – продължителност на работа при номинални условия



Фиг. 2.3. Към кратковременен режим на работа:

N – продължителност на работа при постоянен товар

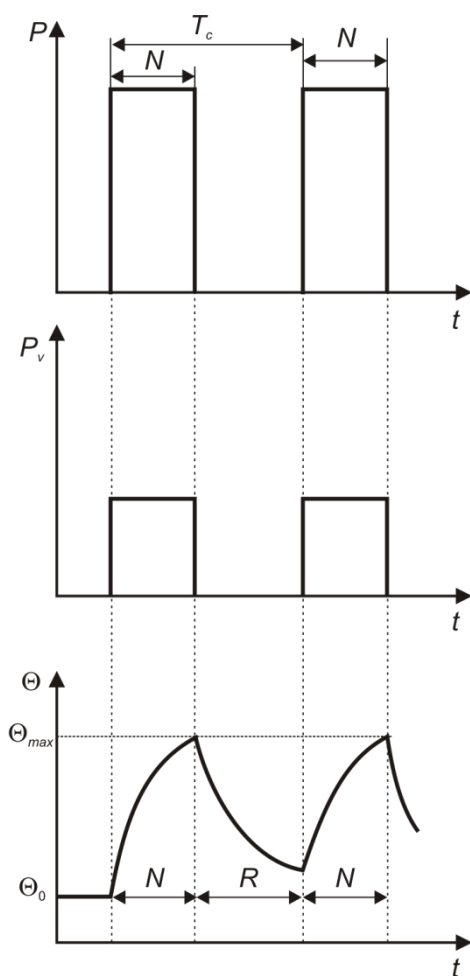
Режим S3 - Периодичен режим (фиг.2.4)

Редуват се идентични цикли на работа и покой с постоянно натоварване. Този режим е твърде кратък, за да се надвиши температурното равновесие. Пусковият ток няма особено значение за нарастването на температурата.

Препоръчителните стойности за коефициента на продължителността на цикъла са 15, 25, 40 и 60 %. Продължителността на един цикъл е 10 min (600 s). Примерно означение - S3 25 %. Коефициентът на относителна продължителност на цикъла се определя с израза

$$K = \frac{N}{N + R} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

В този режим, работят най-често електрически асинхронни двигатели, задвижващи кранове, телфери, електрически инструменти и др.



Фиг. 2.4. Към периодичен режим на работа:

T_c – продължителност на един цикъл натоварване; N - продължителност на работа при постоянен товар; R – продължителност при покой

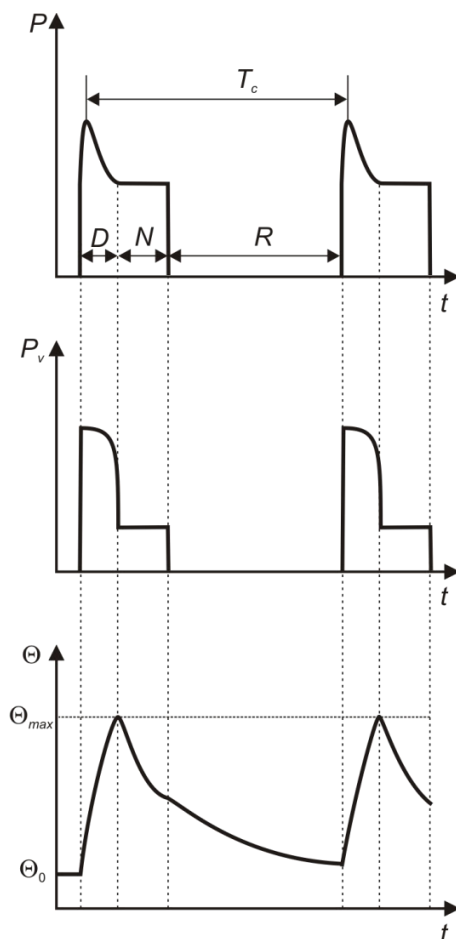
Режим S4 - Периодичен режим с пускане (фиг.2.5)

Редуват се идентични цикли на пускане, работа при постоянен товар и покой. Времето на цикъла е твърде кратко за достигане на температурно равновесие, но пусковият ток влияе на нарастването на температурата. При

този режим електрическият двигател се спира или от товара, или чрез механична спирачка, което не го натоварва термично.

За да се дефинира напълно този режим са необходими следните параметри: коефициент на продължителност на цикъла, брой цикли за час, инерционен момент на товара J_L и инерционен момент на електрическия двигател J_M .

Примерно означение: S4 25%, 120 с.ч⁻¹, $J_L=0,2 \text{ kgm}^2$, $J_M=0,1 \text{ kgm}^2$.



Фиг.2.5. Към периодичен режим с пускане:

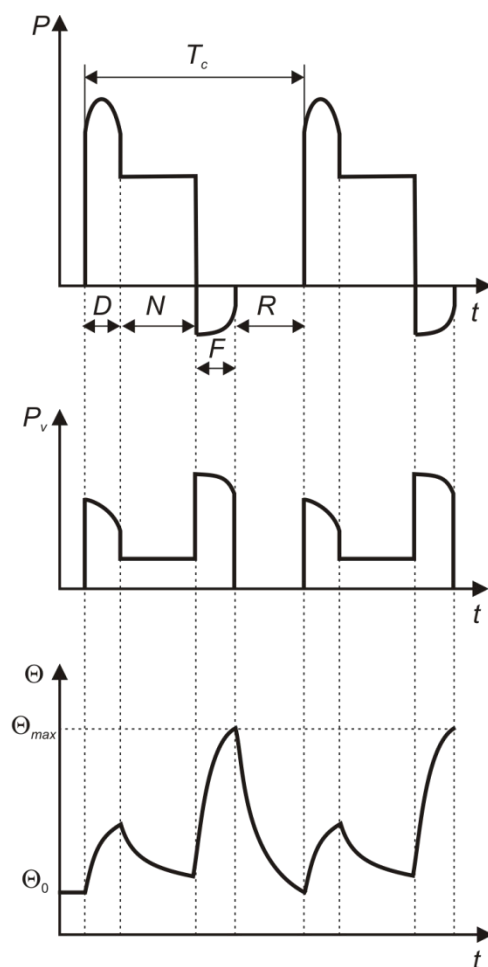
T_c – продължителност на един цикъл натоварване; D – продължителност на пускане (развъртане); N - продължителност на работа при постоянен товар; R – продължителност при покой

Коефициентът на продължителност на цикъла се определя по

$$K = \frac{D+N}{D+N+R} \cdot 100, \% . \quad (2.2)$$

Режим S5 - Периодичен режим с пускане и електрическо спиране (фиг. 2.6)

Редуват се идентични цикли на пускане, работа при постоянен товар, период на рязко електрическо спиране и период на покой, но пусковият ток влияе на нарастването на температурата. Времето на цикъла е твърде кратко за достигане на температурно равновесие.



Фиг. 2.6. Към периодичен режим с пускане и електрическо спиране:

T_c – продължителност на един цикъл натоварване; D – продължителност на пускане (развъртане); N – продължителност на работа при постоянен товар; F – продължителност на електрическо спиране; R – продължителност при покой

Този режим е характерен за електрически двигатели в областта на машиностроенето.

За да се дефинира напълно този режим са необходими следните параметри: коефициент на продължителност на цикъла, брой цикли за час, инерционен момент на товара J_L и инерционен момент на електрическия двигател J_M .

Примерно означение: S5 40%, 120 с.ч⁻¹, $J_L=2,6 \text{ kg.m}^2$, $J_M = 1,3 \text{ kg.m}^2$.

Коефициентът на относителна продължителност на цикъла се определя по

$$K = \frac{D+N+F}{D+N+F+R} \cdot 100, \% . \quad (2.3)$$

Режим S6 - Непрекъснат режим с периодичен товар (фиг.2.7)

Редуват се идентични цикли на работа с постоянен товар и работа без товар. Няма периоди на покой. Времето на цикъла е твърде кратко, за достигане на температурно равновесие.

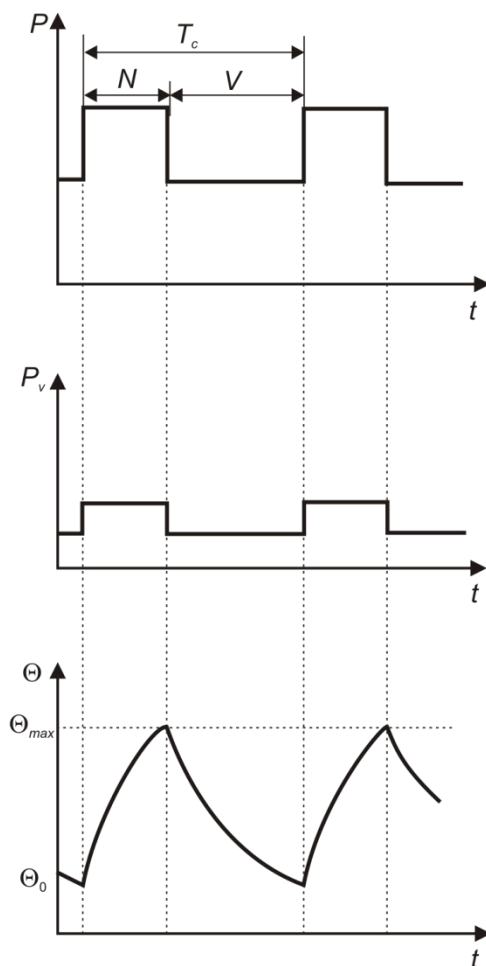
Препоръчителните стойности за коефициента на относителна продължителност на цикъла са 15%, 25%, 40% и 60%. Продължителността на

един цикъл е 10 min.

Обозначението е S6 40%.

Коефициентът на относителна продължителност на цикъла се определя с уравнението

$$K = \frac{N}{N+V} \cdot 100, \% . \quad (2.4)$$



Фиг. 2.7. Към непрекъснат режим с периодичен товар:

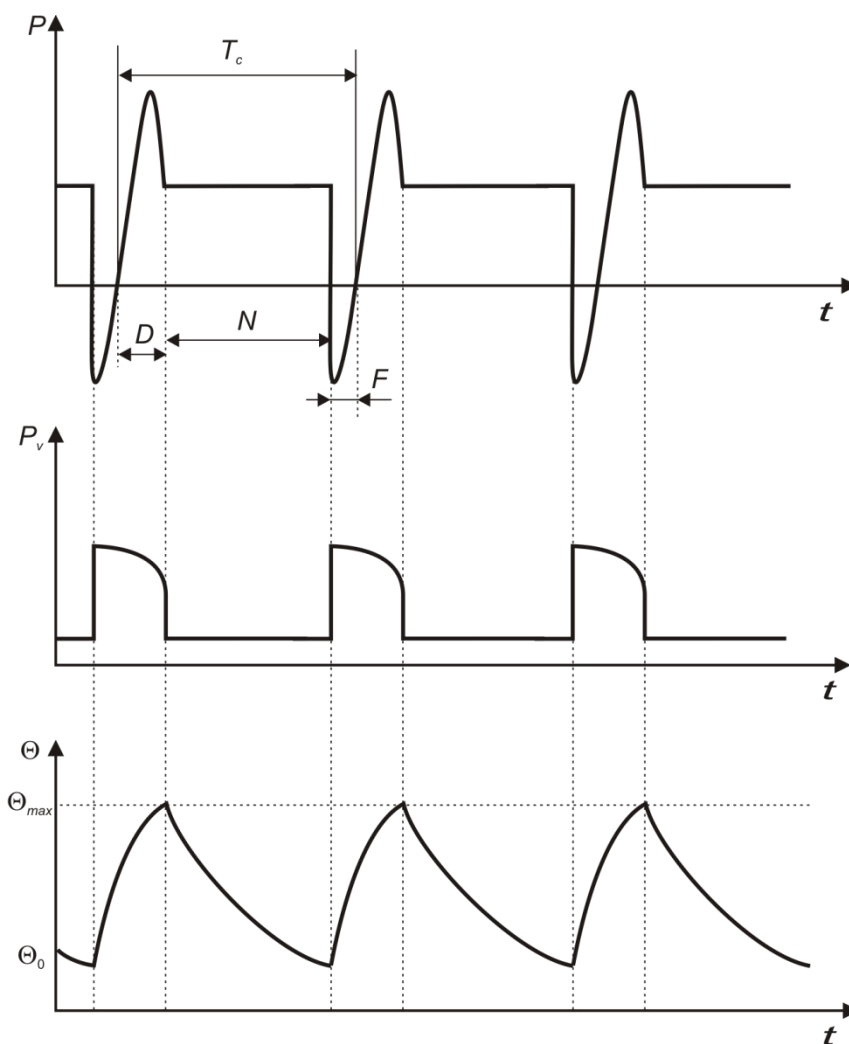
T_c – продължителност на един цикъл натоварване; N – продължителност на работа при постоянен товар; V – продължителност на работа при празен ход

Режим S7 - Непрекъснат режим с електрическо спиране (фиг. 2.8)

Редуват се идентични цикли на пускане, работа при постоянен товар и електрическо спиране, напр. с обратен ток. Няма периоди на покой. Времето на цикъла е твърде кратко за достигане на температурно равновесие.

За да се дефинира напълно този режим са необходими следните параметри: брой цикли за час, инерционен момент на товара J_L и инерционен момент на електрическия двигател J_M .

Примерно означение: S7 50 с.ч⁻¹, $J_L = 0,08 \text{ kgm}^2$, $J_M = 0,08 \text{ kgm}^2$.



Фиг. 2.8. Към непрекъснат режим с електрическо спиране:

T_c – продължителност на един цикъл натоварване; D – продължителност на пускане (развъртане); N – продължителност на работа при постоянен товар; F – продължителност на електрическо спиране

Коефициентът на относителна продължителност е 1.

Режим S8 - Непрекъснат режим с периодична промяна на товара и скоростта (фиг.2.9)

Редуват се идентични периоди на пускане, работа при постоянен товар и определена скорост, последвани от един или повече периоди на работа при други постоянни товари и различни скорости. Няма периоди на покой. Времето на цикъла е твърде кратко за достигане на температурно равновесие. Този тип режим се наблюдава при електрически двигатели, работещи с промяна на полюсите.

За да се дефинира напълно този режим са необходими следните параметри: брой цикли за час, инерционен момент на товара J_L и инерционен момент на електрическия двигател J_M , натоварване, скорост и коефициент на продължителност на цикъла за всяка скорост на работа.

Примерно означение: S8 30 c.h⁻¹, $J_L = 63,8 \text{ kgm}^2$, $J_M = 2,2 \text{ kgm}^2$,

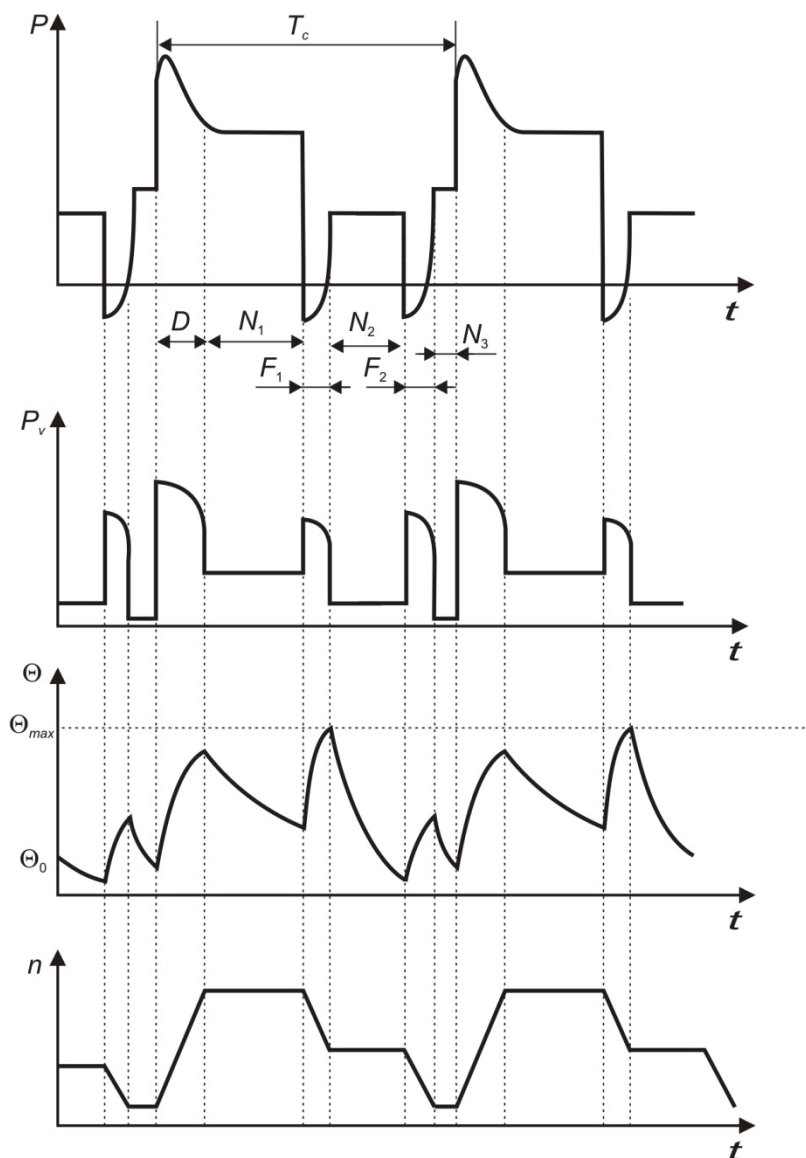
24 kW 740 min⁻¹ 30%, 60 kW 1460 min⁻¹ 30%, 45 kW 980 min⁻¹ 40%.

Коефициентите на относителна продължителност на цикъла 1, 2 и 3 са съответно:

$$K_1 = \frac{D + N_1}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \cdot 100, \% ; \quad (2.5)$$

$$K_2 = \frac{F_1 + N_2}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \cdot 100, \% ; \quad (2.6)$$

$$K_3 = \frac{F_2 + N_3}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \cdot 100, \% . \quad (2.7)$$

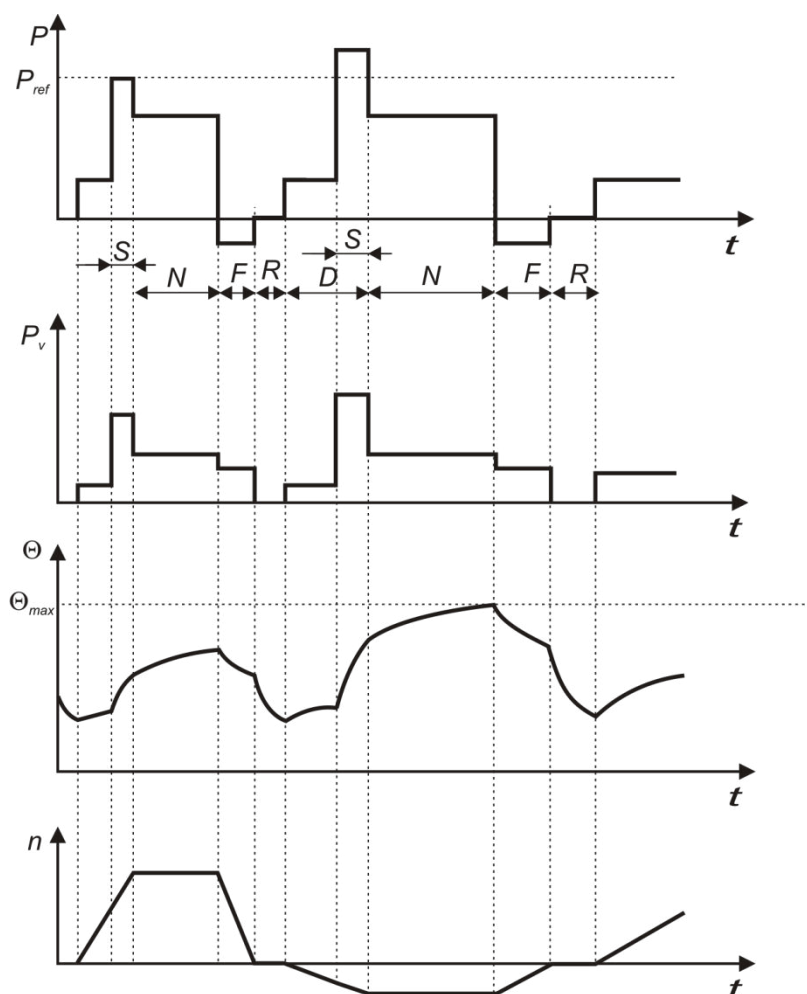


Фиг. 2.9. Към непрекъснат режим с периодична промяна на товара и скоростта:

n – честота на въртене; T_c – продължителност на един цикъл натоварване; D – продължителност на пускане (развъртане); N – продължителност на работа при постоянен товар (N_1, N_2, N_3); F – продължителност при електрическо спиране (F_1, F_2)

Режим S9 - Режим с непериодичен товар и промени на скоростта (фиг. 2.10).

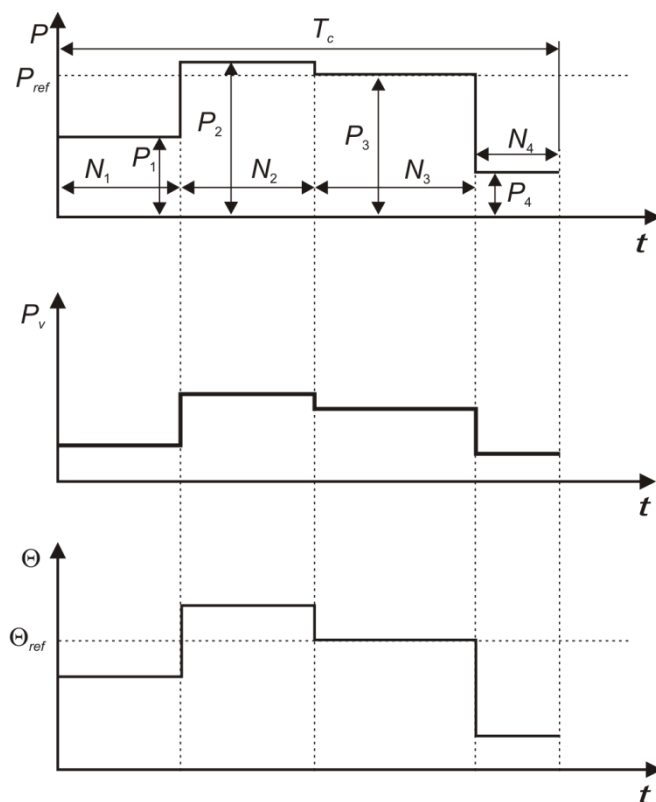
При този режим основно натоварването и скоростта варират непериодично в допустимите граници.



Фиг. 2.10. Към режим с непериодичен товар и промени на скоростта:
 n – скорост на въртене (честота на въртене); P_{ref} – препоръчително натоварване; D – продължителност на пускане (развъртане); N – продължителност на работа при постоянен товар; F – продължителност при електрическо спиране; R – режим при покой; S – продължителност при претоварване

При него се наблюдават претоварвания, които могат в голяма степен да надвишат пълното натоварване. За този режим трябва да се приемат подходящи стойности на пълното натоварване като база на понятието претоварване. Характерен е за задвижвани механизми, използвани в прокатни станове, добиващи устройства за чугун, стомана, феросплави, мед, цинк и др.

Режим S10 - Режим с дискретни постоянни товари (фиг. 2.11).



Фиг. 2.11. Към режим с дискретни постоянни товари:

P_i – постоянен товар в цикъла на натоварване; P_{ref} – препоръчително натоварване на базата на режим на работа S1; T_c – продължителност на един цикъл натоварване; N_i – продължителност на постоянен товар в цикъла на натоварване; Θ_{ref} – температура при препоръчително натоварване на базата на режим на работа S1

Условията за нагряване на електрическите двигатели при всички режими са различни, поради което са необходими различни методи за избиране на мощността. Номиналната мощност на електрическите двигатели P се гарантира от заводите производители при захранване с номинално напрежение $U_N \pm 5\%$, номинална честота $f = 50 \text{ Hz} \pm 1\%$, температура на околната среда – 40°C , надморска височина – до 1000 m .

Съгласно БДС нормалната работа на електрическите двигатели се гарантира при отклонение на напрежението до $\pm 5\%$ и при определени условия: по-студен въздух на охлаждане или по-ниско натоварване $\pm 10\%$.

От гледна точка на целите, поставени в курса по Електрообзавеждане, най-често се изучават случаи на електрозадвижвания, работещи в режими S1, S2 и S3.

Тема 3. ИЗБИРАНЕ НА МОЩНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ ПРИ НЕПРЕКЪСНАТ РЕЖИМ НА РАБОТА С ПОСТОЯННО И ПРОМЕНЛИВО НАТОВАРВАНЕ

I. При постоянно натоварване.

Изборът на мощността се извършва спрямо статичната мощност, необходима за механизма с отчитане и на загубите в предавките. Динамичните натоварвания не се взимат под внимание, защото не оказват влияние върху електрическия двигател.

$$P_{изб.} > P_{изч.}$$

II. Избиране на мощността при променливо натоварване.

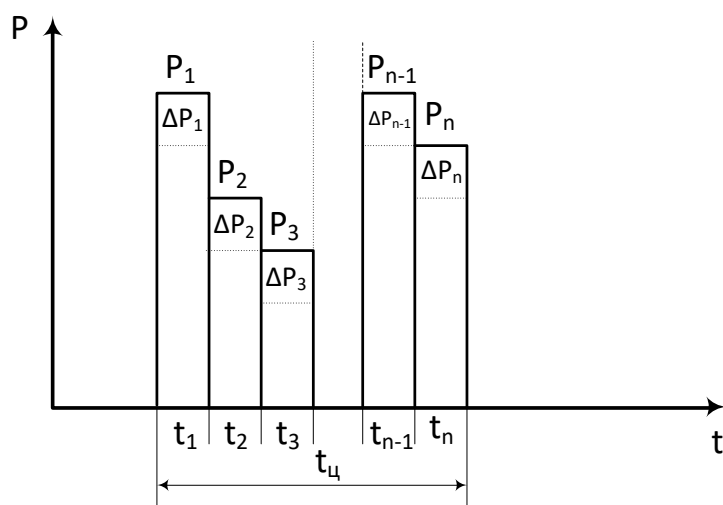
При променливо натоварване, се изменя непрекъснато и натоварването, което улеснява избора. Редът е следният:

1. По действащи статични натоварвания на механизма се прави предварителен избор на електрически двигател;
2. Този електрически двигател се проверява по допустимо нагряване (за отговорни задвижвания се проверява и по краткотрайно претоварване по момент);
3. Ако не отговаря на проверките, се избира следващият, по-голям по мощност електрически двигател и изчисленията се повтарят.

За проверка на електрическите двигатели по прегряване се използват методът на средните загуби на мощност и методите на еквивалентните величини:

1. Метод на средните загуби на мощност

Основава се на допускането, че ако количеството топлина, отделено в електрическия двигател за 1 цикъл работа не надвишава количеството топлина, отделящо се при работа с постоянна номинална мощност (фиг. 3.1), то средната температура няма да надвишава допустимата.



Фиг. 3.1. Метод на средните загуби на мощност

$$Q_N \cdot t_{\text{ц}} > Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + \dots + Q_{n-1} \cdot t_{n-1} + Q_n \cdot t_n$$

$$\Delta P_N \cdot t_{\text{ц}} > \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \dots + \Delta P_{n-1} \cdot t_{n-1} + \Delta P_n \cdot t_n$$

където:

- Q_N – съответства на загубите на P_N ;
- $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$ – количество топлина при работа със съответни мощности;

Количеството отделена топлина Q е пропорционална на съответните загуби ΔP : $Q \equiv \Delta P$ и след заместване се получава:

$$P_N \geq \frac{\sum \Delta P_i \cdot t_i}{t_{\text{ц}}} = \Delta P_{\text{ср}}$$

където:

- $\Delta P_{\text{ср}}$ – средни загуби на мощност за цикъл;

$$\Delta P_{\text{н1}} < \Delta P_{\text{ср}} < \Delta P_{\text{н}}$$

- $\Delta P_{\text{н1}}$ – загуби, които отговарят на най-близката каталожна стойност.

Методът на средните загуби е най-точен и може да се използва за избиране на мощността на електрическия двигател при всички режими на работа. Той е свързан обаче с много изчисления и изисква точно познаване на променливите и постоянни загуби в електрическите двигатели (изучени в учебните дисциплини Електрически машини – I и II част). По тази причина се прилага рядко. След като е проверен по условието за загряване, се прави проверка на електрическия двигател по допустимо краткотрайно претоварване и по пусков момент.

2. Метод на еквивалентния ток

Той се получава от метода на средните загуби, по-малко точен е от него, но е по-удобен за практически изчисления.

Загубите на мощност в електрическия двигател ΔP имат постоянни $\Delta P_{\text{п}}$ и променливи $\Delta P_{\text{пр}}$ съставлящи:

$$\Delta P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} = \text{const.} \quad \Delta P_{\text{пр}} = P_{\text{ел1}} + P_{\text{ел2}} = kI^2$$

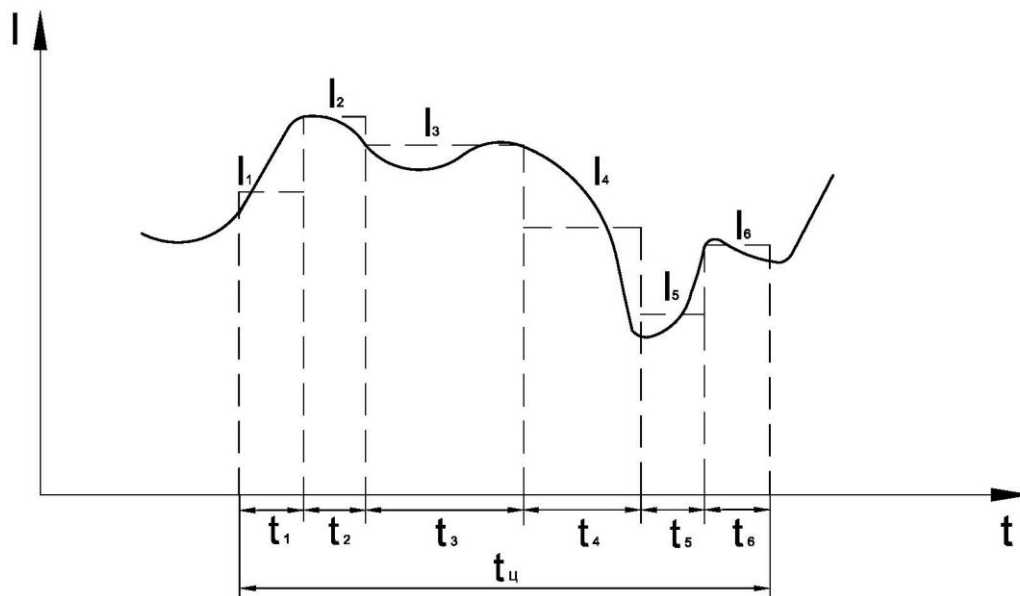
$$\Delta P = \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{пр}} = \Delta P_{\text{п}} + kI^2$$

Ако се приеме, че постоянните загуби запазват постоянна стойност по време на работа, за еквивалентния ток се получава:

$$kI_{\text{екв}}^2 = kI_1^2 t_1 + kI_2^2 t_2 + \dots + kI_n^2 t_n$$

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}}$$

За да се определи еквивалентният ток, трябва да се познава товаровата диаграма $I = f(t)$, общ вид на която е даден на фиг. 3.2.



Фиг. 3.2. Към определяне на еквивалентния ток

От зависимостта $I = f(t)$ може да се определи по горната формула и $I_{\text{екв}}$, когато изменението на тока е стъпално или може да се представи стъпално.

При плавно изменение на тока:

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{\text{ц}}} I^2 dt}{t_{\text{ц}}}}$$

Избирането на мощността на електрическия двигател се извършва, като за предварително избрания електрически двигател се заснема зависимостта $I = f(t)$, определена от статични и динамични натоварвания и се определя $I_{\text{екв}}$. Изборът е правилен, ако:

$$I_{\text{н}} > I_{\text{екв}} > I_{\text{н1}}$$

където $I_{\text{н1}}$ – номинален ток на следващия по каталог, по-малък по мощност електрически двигател от този с номинален ток $I_{\text{н}}$.

Избраният електрически двигател по горепосочения начин удовлетворява условието за нагряване. След това той се проверява за краткотрайно претоварване по ток:

$$\frac{I_{\max}}{I_{\text{н}}} \leq \lambda_I$$

където

- $I_{\max}$ – най-големият ток от товаровия график;
- λ_I – кратността на допустимото претоварване по ток.

Използването на метода на еквивалентния ток е съпроводено с много трудности за построяване на товаровия график $I = f(t)$ поради преминаване от механични величини към електрически ток. Този метод обаче е много удобен за практиката, когато е необходимо да се провери натоварването на работещи електрически двигатели. При работа в установен режим с помощта на клещов амперметър и секундомер може да се заснеме товаровият график ($I = f(t)$), а при динамични режими трябва да се използва цифров осцилоскоп. След получаване на $I_{\text{екв}}$ се прави проверка на двигателя по загряване и краткотрайно претоварване.

3. Метод на еквивалентния момент

Този метод се получава от метода на еквивалентния ток и се използва в случаите, при които електромагнитният момент M е пропорционален на тока:

$$M = kI$$

Като се умножи лявата и дясната страна на израза за $I_{\text{екв}}$, се получава аналогичен израз за $M_{\text{екв}}$:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

Редът на избиране на мощността е същият, както при метода на еквивалентния ток. Изчисленията продължават до изпълнение на условието:

$$M_{\text{н}} > M_{\text{екв}} > M_{\text{н1}}$$

където $M_{\text{н1}}$ – номинален момент на първия, по-малък по мощност електрически двигател.

След това се прави проверка за краткотрайно претоварване по момент, при което трябва:

$$\frac{M_{\max}}{M_{\text{н}}} \leq \lambda_M = m_m$$

където

- $M_{\max}$ – най-големият момент от товаровата диаграма;

➤ $\lambda_M = m_M$ – допустимото претоварване по момент.

Този метод е по-малко точен от метода на еквивалентния ток, но е удобен за изчисления, защото се работи с механични величини, определянето на които не е трудно и се използва при изчисляване на мощността и избор на електрически двигател за подемен и ходов механизъм на кранове.

4. Метод на еквивалентната мощност

При електрическите двигатели се различават два вида мощности, електрическа P_1 , която се консумира от мрежата:

$$P_1 = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi$$

а на вала се получава механична мощност P_2 :

$$P_2 = M\Omega; \quad \Omega = 2\pi n \text{ [rad/s]}; \quad P_2 = 2\pi n M; \quad n \text{ [s}^{-1}\text{]};$$

$$P_2 = M \cdot \Omega = \frac{2\pi n}{60} \cdot M, [\text{min}^{-1}] \rightarrow M = \frac{60 P_2}{2\pi n} = 9,55 \frac{P_2}{n}$$

Този метод се получава от метода на еквивалентния момент и се използва в случаите, когато скоростта при работа не се изменя или се изменя в много тесни граници. При това може да се приеме, че мощността:

$$P = M \cdot \Omega = M \cdot 2\pi n$$

е пропорционална на момента.

Като се използва товаровата диаграма се получава $P_{\text{екв}}$:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

При този метод трудно се отчитат претоварванията при пускане и спиране и за това е удобен за използване, когато те са по-редки. Чрез последователни изчисления се стига до удовлетворяване на условието:

$$P_H > P_{\text{екв}} > P_{H1}$$

където P_{H1} – номинална мощност на първия, по-малък по мощност електрически двигател.

След това се прави проверка за краткотрайно претоварване по ток или момент.

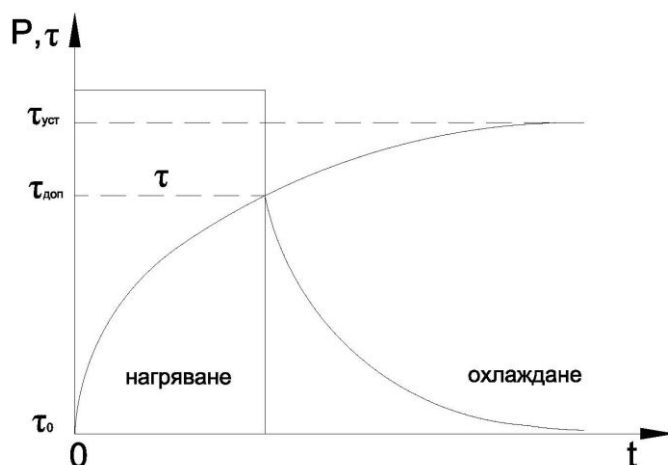
Тема 4. ИЗБИРАНЕ НА МОЩНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕНЕН И ПЕРИОДИЧЕН РЕЖИМ НА РАБОТА, ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМИЯ БРОЙ ВКЛЮЧВАНИЯ ЗА ЧАС

I. Избиране на мощността на електрически двигател при кратковременен режим на работа

Опростената товарова диаграма, нагряването и охлаждането на електрическия двигател при кратковременен режим са показани на фиг. 4.1.

Електрическият двигател работи кратко време t_k и не достига установената си температура и след това има достатъчно дълго време, за да се охлади до околната температура.

Изборът на електрически двигател за кратковременен режим на работа трябва да се провежда така, че по време на работа t_k и натоварване P_k да се достига $\tau_{\text{доп}}$.



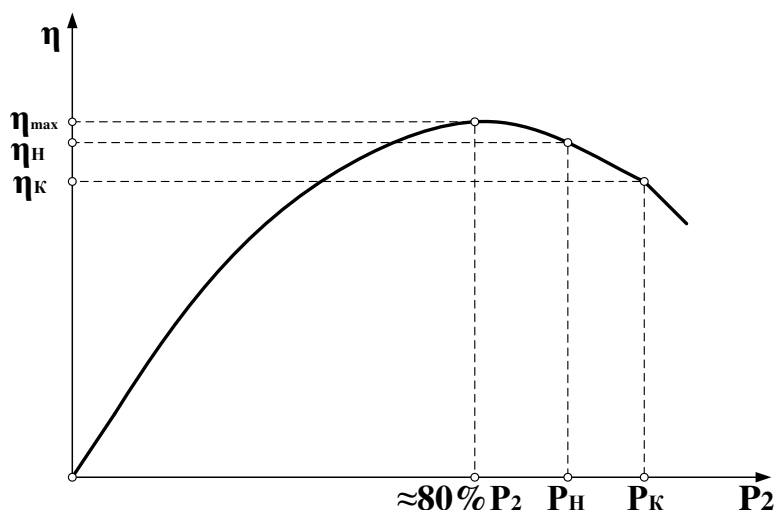
Фиг. 4.1. Опростена товарова диаграма, нагряване и охлаждане на електрическия двигател при кратковременен режим

Може ли при тези случаи да се използва електрически двигател, предназначен за непрекъснат режим на работа S1? По принцип – може. Необходимо е да се провери дали мощността P_k може да бъде обезпечена с конструктивните параметри на електрическия двигател, осигуряваща краткотрайно претоварване по ток λ_I и по момент λ_M .

В повечето случаи тези параметри не позволяват електрическите двигатели да бъдат претоварени до мощност P_k .

Освен това, различните части на електрическия двигател имат различни времеконстанти на загряване. При непрекъснат режим това няма значение, но при кратковременен режим допустимото натоварване ще се определи от частта с най-малка времеконстанта на загряване. Това означава, че останалите части не ще се използват пълноценно. Коефициентът на полезно действие η вследствие на увеличението на променливите загуби на мощност също ще се намали от η_n до η_k (фиг. 4.2).

Поради тези главни съображения използването на електрически двигател, предназначен за непрекъснат режим на работа S1, в кратковременен режим на работа S2 не е целесъобразно. Затова за кратковременен режим на работа се конструират специални електрически двигатели, на които за краткото време на работа активно да се използват всички части по нагряване и претоварване.



Фиг. 4.2. Изменение на к.п.д. вследствие на увеличението на променливите загуби на мощност

Постоянната съставляща на загубите при тях е по-голяма.

Възможно ли е електрически двигател, предназначен за кратковременен режим на работа, да се използва за непрекъснат? Възможно е, но не е целесъобразно – поради големите постоянни загуби той с малки продължителни натоварвания ще достига $t_{доп}$. Често пъти постоянните загуби са толкова големи, че не е възможно продължително да се работи дори на празен ход.

II. Избиране на мощността на електрически двигател при периодичен режим на работа

Периодичният режим на работа е съпроводен с чести пускания, постоянно или променливо натоварване, спиране и пауза. Този цикъл без или с изменение в натоварването се повтаря.

Идеалният товаров график за този режим е показан на фиг. 4.3 за момента на вала на електрическия двигател. Постоянното натоварване с момент M_H продължава по време t_p , след което следва пауза t_n , а времето за цикъла t_{Σ} е:

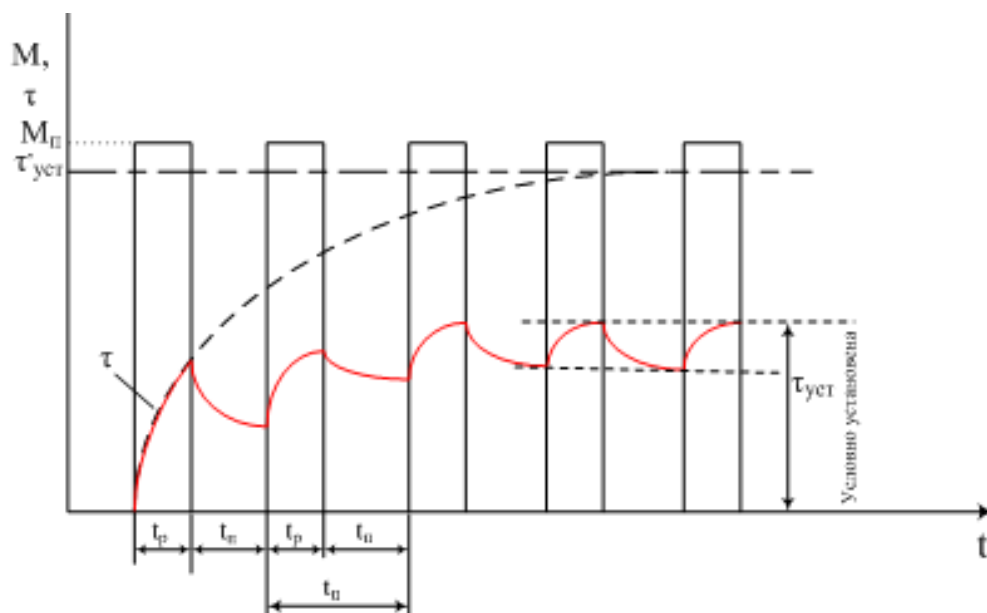
$$t_{\Sigma} = t_p + t_n$$

Относителната продължителност на включване е:

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} \quad ПВ[\%] = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} \cdot 100\%$$

По време на работа температурата на електрическият двигател се повишава, а по време на паузите се понижава. След известно време (няколко цикъла) температурата ще се изменя в тесни граници, горната установена $\tau_{уст}$ се приема като условно установена. Тази температура не трябва да надвишава допустимата.

Очевидно при работа в периодичен режим не е целесъобразно електрическият двигател да се избира по абсолютната стойност на натоварването, защото няма да се използва добре по нагряване. Целесъобразно ще бъде електрическият двигател да има по-малка номинална мощност от тази на товарната диаграма и по време на работа да се претоварва.

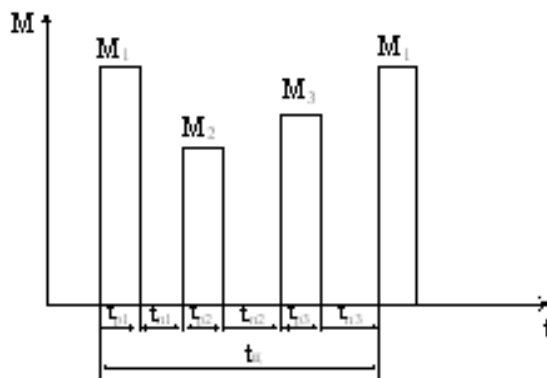


Фиг. 4.3. Идеален товаров график за периодичен режим

На практика идеалният товаров график се среща като изключение, а действителният в най-общ вид е показан на фиг. 4.4.

Работните времена „ t_{pi} “ с натоварване M_i и паузи t_{ni} могат да имат различни големина. Относителната продължителност на включване ще бъде:

$$ПВ [\%] = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{ni}} \cdot 100$$



Фиг. 4.4. Действителен товаров график за периодичен режим

При този режим, както и при кратковременния, не е целесъобразно да се използват електрически двигатели, предназначени за непрекъснат режим на работа, т.к. условията на работа в двата режима в топлинно отношение са различни. Поради това се произвеждат специални електрически двигатели за този режим. Те притежават някои особености – имат ротор с по-малък диаметър D , но с по-голяма дължина l , за да се намали инерционният момент J (или маховият момент – GD^2) на електрическия двигател, което е необходимо за ускоряване на преходните процеси. Електрическите двигатели за този режим имат определени данни – мощности, претоварване и др. за всяка ПВ. Когато тя не е дадена в каталозите, обикновено се посочват данните за ПВ 25%.

Възможно ли е електрически двигател, предназначен за режим на работа с дадена ПВ, да работи при друга ПВ? Да, но трябва да се има предвид следните зависимости в номиналните данни. Привеждането на мощността и момента от едно ПВ₁ към друго ПВ₂ става съгласно израза:

$$P_{ПВ1} = P_{ПВ2} \sqrt{\frac{ПВ_2}{ПВ_1}}; \quad ПВ_1 = 60\%; \quad ПВ_2 = 15\%; \quad P_{15\%}$$

$$= P_{60\%} \sqrt{\frac{60}{15}} = 2P_{60\%}$$

$$M_{ПВ1} = M_{ПВ2} \sqrt{\frac{ПВ_1}{ПВ_2}}$$

Съотношения:

$$P_{ПВ15\%} > P_{ПВ25\%} > P_{ПВ40\%} > P_{ПВ60\%} > P_{ПВ100\%}$$

$$M_{ПВ15\%} > M_{ПВ25\%} > M_{ПВ40\%} > M_{ПВ60\%} > M_{ПВ100\%}$$

$$I_{ПВ15\%} > I_{ПВ25\%} > I_{ПВ40\%} > I_{ПВ60\%} > I_{ПВ100\%}$$

$$\omega_{ПВ15\%} < \omega_{ПВ25\%} < \omega_{ПВ40\%} < \omega_{ПВ60\%} < \omega_{ПВ100\%}$$

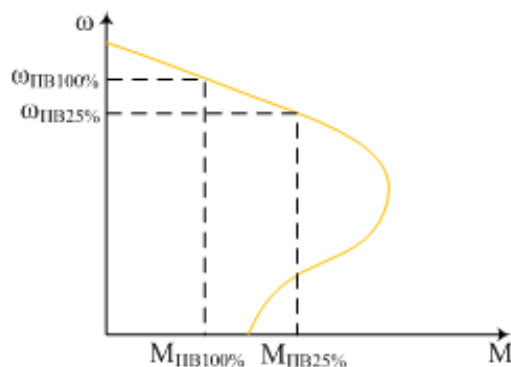
$$\lambda_M = \frac{M}{M_H}$$

λ_M – претоварваща способност.

$$\lambda_{ПВ15\%} < \lambda_{ПВ25\%} < \lambda_{ПВ40\%} < \lambda_{ПВ60\%} < \lambda_{ПВ100\%}$$

Изменението на допустимото претоварване по момент λ_M зависи от това каква е λ_M като конструктивен показател и каква е стойността на ПВ, при което ще работи електрическият двигател. Напр., ако електрическият двигател има ПВ100%, M_{H100} и $\lambda_{M100} = 2,5$, то при ПВ25%, $M_{H25} = 2M_H$,

$$\lambda_{M25\%} = \frac{2,5 M_H}{2 M_H} = 1,25.$$



Фиг. 4.5. Работа в периодичен режим при различни ПВ

Еквивалентният момент за периодичен режим се изчислява по изказа:

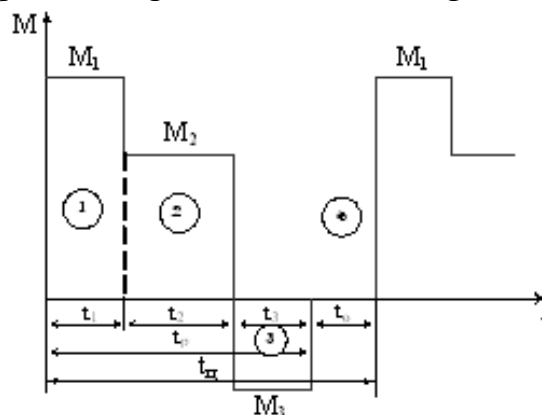
$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

Времената за паузите не се включват в знаменателя на подкоренната величина защото се отчитат при ПВ[%]. Най-често срещаните случаи на периодичен режим на работа имат товарова диаграма, показана на фиг. 4.6.

Първият участък се определя от условието на пускане, вторият е работа при установена скорост, третият – спиране и четвъртият – пауза.

Тогава:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$



Фиг. 4.6. Товарова диаграма

При електрическите двигатели със собствена вентилация условието за топлоотдаване по време на преходни процеси (пускане и спиране), а също и по време на паузата са влошени. Те могат да бъдат взети под внимание при изчисляване на относителното включване по следния начин:

$$\text{ПВ} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_0}$$

където:

- $\alpha = 0,75$ – отчита влошаването на охлаждането при пускане и спиране;
- $\beta = 0,5$ – отчита влошаването на охлаждането по време на пауза.

III. Определяне на допустимия брой включвания за час на АДНСР (асинхронен електрически двигател с накъсосъединен ротор)

Често пъти по условие на технологичния процес се налага някои механизми да имат голям брой включвания за час: $600 \div 800$ и дори до 2000.

Мощността на електрическия двигател за тези случаи трябва да бъде избрана така, че след големия брой цикли средното превишение на температурата му да бъде в допустимите граници. Този въпрос се отнася само за АДНСР, понеже отделената при тях топлина (главно в ротора) трябва да се предаде от самия електрически двигател към околната среда. Това не се отнася за постояннотоковите електрически двигатели и асинхронните електрически двигатели с навит ротор, защото при тях голяма част от отделената при работа топлина се изнася чрез съпротивленията извън електрическия двигател.

За АДНСР при избрана мощност P_n и известен режим на работа ПВ и натоварване P_p може да се определи допустимият брой включвания за час. Режимът на работа е подобен на този, даден на фиг. 4.6. Електрическият двигател се пуска за време t_n , а работи в установен режим с номинална скорост t_y , спира за време $t_{сп}$ и се намира в пауза за време t_o .

Допустимият брой включвания за час е:

$$h \approx 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P_p) \text{ПВ} + \Delta P_n \cdot \beta (1 - \text{ПВ})}{\Delta A_n - \Delta A_{сп}}$$

където:

- ΔP_n и ΔP_p – загубите на мощност на при номинален товар P_n и при товар P_p ;
- ПВ – относително включване;
- $\beta = 0,5$ – отчита влошаването на охлаждането по време на пауза;
- ΔA_n и $\Delta A_{сп}$ – загубите на енергия за един цикъл на пускане и спиране.

Най-голям брой включвания има при работа на празен ход и с увеличаване на натоварването h намалява и достига най-малка стойност при номинален режим. Върху h съществено влияние оказват загубите на енергия в преходните режими (пускане и спиране). Тези загуби са пропорционални на инерционния момент J и за това с неговото увеличение h намалява.

На пръв поглед изглежда, че с увеличаването на мощността на електрическия двигател h расте. Но с по-голяма мощност расте инерционният момент на електрическия двигател, което води до повишени загуби на енергия ΔA_n и $\Delta A_{сп}$.

Увеличаването на h може да се постигне чрез независима вентилация на електрическия двигател, действаща непрекъснато през целия цикъл на работа.

Тема 5. ИЗБИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ ПО КОНСТРУКТИВНО ИЗПЪЛНЕНИЕ И СПОРЕД НАЧИНА НА ОХЛАЖДАНЕТО ИМ

I. Избиране по конструктивно изпълнение

1. Според начина на монтажа.

За хоризонтален, вертикален или монтаж под наклон електрическите двигатели се изработват с лапи или с фланец. Има конструкции едновременно с лапи и фланец.

2. Според разположението на вала.

За хоризонтален и вертикален монтаж. Свободните краища на валовете могат да са от едната, от другата или едновременно от двете страни на електрическия двигател и могат да имат цилиндрична, мостова или фланцова (*F*) форма за изпълнение.

II. Избиране според защитата от действието на околната среда

Защитата от действието на околната среда се осъществява от корпуса и капациите.

IP 00 (International Protection)

Първата цифра определя защитата от допиране на човек и проникване на чужди тела (предмети, животни, прах) вътре в електрическия двигател.

- „0“ – без защита от допир до части под напрежение, а също и от попадане на чужди тела;
- „1“ – защита от случайно допиране с ръка и попадане на чужди тела с размер $d < 52,5 \text{ mm}$;
- „2“ – защита от допиране с пръсти, а също и попадане на чужди тела с размер $d < 12,5 \text{ mm}$;
- „4“ – защита от допиране, а също и попадане на чужди тела с размер $d < 1 \text{ mm}$;
- „5“ – пълна защита от допиране и попадане на прах в количество, което да причини повреда;
- „6“ – пълна защита от проникване на прах и допиране.

Втората цифра определя защитата от вода.

- „0“ – без защита против проникване на вода в електрическия двигател;
- „1“ – защита от вертикално падащи капки вода;
- „2“ – защита от капеща вода с наклон до 15^0 спрямо вертикалата;
- „3“ – защита от дъжд с наклон до 60^0 спрямо вертикалата;
- „4“ – защита от пръски вода от всякаква посока;
- „5“ – защита от струя вода от всякаква посока;
- „6“ – защита от морски води (електрически двигатели за плавателни съдове);
- „7“ – защита от потапяне във вода, като водата не прониква вътре в електрическия двигател за определено време (4 часа);
- „8“ – пълна водонепроницаемост (електрическият двигател неограничено време може да работи под вода).

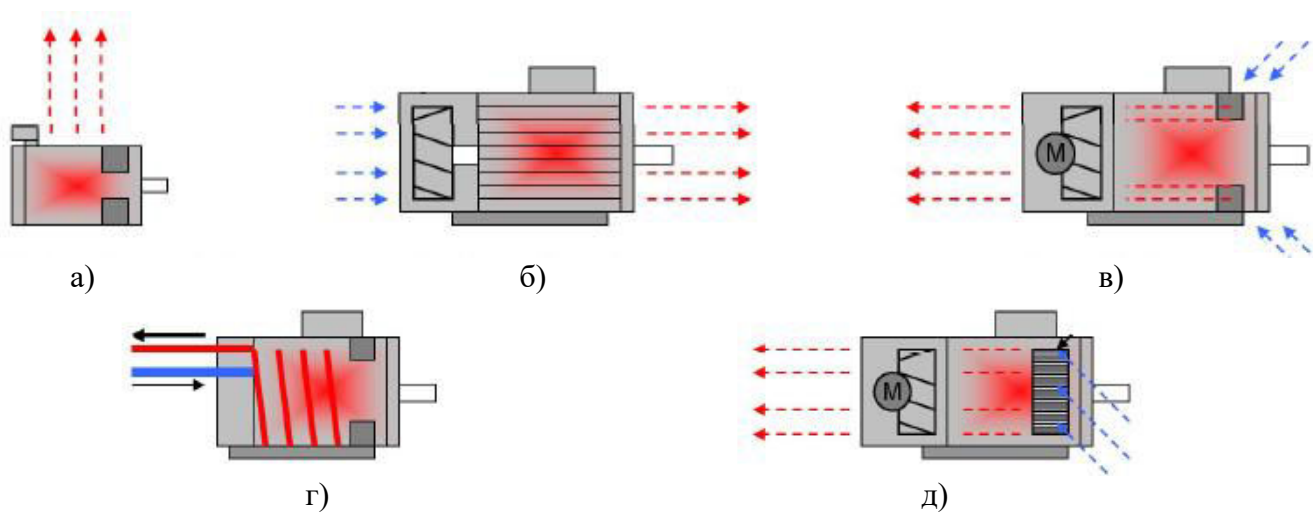
Често срещани степени на защита: IP 00; IP 22; IP 44; IP 54.

Защитата за взривоопасна среда се осигурява чрез специални междини между корпуса и капациите, в които да се охлаждаат излизащите от вътре навън газове, ако има такива.

Защитата от химически активна среда, се осигурява с подходящи материали за корпуса и капациите и защитни покрития (устойчиви бои и лакове).

III. Избиране на електрически двигател според начина на охлаждане

1. С естествена вентилация – охлаждането е чрез повърхнината на обвивката, фиг.5.1 а);
2. Собствена вентилация – най-разпространена, с вентилатор на вала, фиг. 5.1 б). Предимство: проста конструкция. Недостатък: лошо охлаждане при ниски скорости.
3. Независима принудителна вентилация (форсирано охлаждане) – скъпа система, електрическият двигател може да се охлажда дори когато е в покой. При това има опасност от кондензиране на влага върху намотките. Могат да се охлаждаат група електрически двигатели по този начин, фиг. 5.1 в);
4. Водно или водородно охлаждане – при електрически двигатели средно напрежение и големи мощности, фиг. 5.1 г);
5. Вентилация с отворен кръг за охлаждане, фиг. 5.1 д) – мощността и загубите на мощност на двигателя се увеличават приблизително пропорционално на обема със степен 3. Повърхността, през която загубата на мощност може да се разсее, се увеличава със степен 2. Приложение: при по-големи електрически двигатели във вариант с вътрешно охлаждане. Предимство: по-висока плътност на мощността. Недостатък: по-ниска степен на защита (IP 21).



Фиг. 5.1. Начини на охлаждане на двигателите.

Тема 6. ИЗБИРАНЕ НА АПАРАТИ ЗА ЗАЩИТА И УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО

I. Общи сведения

Апаратите за защита и управление на електрообзавеждането служат за пускане, промяна на посоката на движение, изменение и регулиране на скоростта, спирачни режими, спиране до покой, защита от претоварване и повреди, блокировки с различно предназначение и др. Блокировките осигуряват самостоятелна или едновременно работа на механизмите, извършване на операции в определена последователност или забрана за това, безопасност на персонала и др.

Изискванията към апаратите за защита и управление са подобни на тези, които се поставят за електрическите двигатели и въобще за съоръженията: да бъдат прости по конструкция, евтини, да имат сигурно действие и да не се повреждат, да са безопасни и удобни за експлоатация и ремонт, бързодействащи, с дълъг живот, с малко тегло и размери и др.

При избирането им трябва добре да се познават параметрите на електрическата мрежа в точките, където ще работят, а също условията на околната среда. Условията за избиране са общи и специфични. Общите условия са валидни за всички апарати и обхващат: напрежение, режим на работа, токово натоварване и условия на околната среда. Специфичните условия са допълнителни: продължителност на работа (живот, трайност), брой на главните и спомагателните контакти, бързина на действие и др.

II. Общи условия за избиране на апарати

1. Напрежение

При избора е необходимо номиналното напрежение на апарата да е равно или по-голямо от напрежението на електрическата мрежа.

Това условие се определя от изолацията на апарата, напрежителните му намотки и техническата безопасност. Нормално се допуска работа на апарата при по-високо напрежение от номиналното му, но не с повече от 5÷10% (това точно е указано в паспортите или стандартите за всеки апарат).

2. Режим на работа

Консуматорите определят режима на работа, за който трябва да се избират апаратите. За голяма част от апаратите – прекъсвачи, превключватели, предпазители, автоматични прекъсвачи, режимът на работа е непрекъснат, независимо от режима на работа на консуматора. Но за контактори, релета и пускатели той може да бъде периодичен при определена продължителност на включване (ПВ). Апаратите, предназначени за работа в периодичен режим, се изработват за ПВ 15%, 25%, 40% и 60%. Това се отнася главно до различия в намотките им. Освен за определен режим на

работа някои апарати (например контакторите) се избират и по допустимия им брой на включвания за час — 60, 120, 300, 600 или 1200.

3. Токово натоварване

Конструктивно то е определено преди всичко от тоководещите части и контактната система на даден апарат. Необходимо е номиналният ток на апарата при даден режим на работа да бъде равен или по-голям от максималния работен ток при същия режим на работа на консуматора. Стандартите допускат краткотрайни претоварвания, които не водят до прегряване и повреди на апаратите.

4. Условия на околната среда

Обикновено апаратите работят в затворени помещения и в редки случаи на открито (под навеси, в табла). Околната среда може да бъде нормална, запрашена, замърсена (примерно с масла), влажна, газозвзривоопасна и т. н. Затова апаратите се делят на четири групи според изпълнението им за работа при различни условия на околната среда. В първа група попадат най-малко защитените апарати — те са открити или защитени с мрежа, предназначени за работа в нормална среда. Във втора група са защитените с кожух или капак апарати, предназначени за работа в малко замърсена и запрашена среда. В трета група са затворени плътно апарати, предназначени за работа в силно замърсена и влажна среда. В четвърта група са апаратите, предназначени за работа в газозвзривоопасна среда.

III. Специфични условия за избиране на апарати

1. Трайност

Това е способността на апарата да издържа определен брой цикли на включване и изключване. Определя се главно от механичната и контактната система. Отнася се за апарати, предназначени за голям брой включвания за час при периодичен режим.

2. Брой на главните (силови) и спомагателните контакти

Апаратите се изпълняват в едно- или няколкополюсно изпълнение. Трябва да се избират според консуматорите. Същото се отнася и за броя и вида силови и спомагателни контакти.

3. Бързина на действие

При електрозадвижванията се налага да се съобразява бързината на включване или изключване на апаратите. Бързодействащи са тези апарати, при които тези процеси протичат за няколко хилядни или стотни от секундата, а бавнодействащи — за десети от секундата. Бързодействащите апарати са по-скъпи от бавнодействащите.

4. Вид защита

Според изискванията на консуматорите трябва да се изберат апарати с подходяща защита (максималнотокова, топлинна, минималнонапрежено-

ва). Освен видът на защитата трябва да се избират и границите за настройването ѝ.

IV. Избиране на апарати

1. Лостови прекъсвачи, валцови прекъсвачи, лостови и валцови превключватели за изменение на реда на фазите или превключване звезда-триъгълник

Избират се по:

- номинално напрежение;
- номинален ток;
- околна среда;
- брой на силовите контакти;
- начин на монтаж и скачване на изводите (предно, задно).

2. Предпазители

Избират се по:

- номинално напрежение;
- вид на монтажа и присъединяване на изводите;
- условия на околната среда;
- номинален ток на предпазителя;
- номинален ток на вложката;
- бързина за изключване;
- изпълнение: едно-, дву- или триполюсно.

3. Автоматични прекъсвачи

Избират се по:

- номинално напрежение;
- условията на околната среда;
- вид на монтажа и присъединяване на изводите;
- номинален ток на автомата, при което той трябва да бъде по-голям от работния ток на консуматора при дадения режим на работа;
- ток на настройката на максималнотоковата защита;
- ток на настройката на топлинната защита;
- настройка на минимално-напрежителната защита;
- изпълнение: едно-, дву- или триполюсно.

4. Магнитни пускатели

Избират се по:

- номинално напрежение;
- условия на околната среда;
- вид на монтажа и присъединяване на изводите;
- номинален ток на пускателя;
- ток на настройката на максималнотоковата защита;
- ток на настройката на топлинната защита;
- трайност;
- брой на силовите и спомагателните контакти.

5. Контактори

Избират се по:

- номинално напрежение;
- режим на работа и честота на включване;
- номинален ток при дадения режим на работа;
- вид на монтажа и присъединяване на изводите;
- условия на околната среда;
- трайност;
- брой на силовите и спомагателните контакти.

6. Релета

Избират се по:

- номинално напрежение или номинален ток;
- граници на настройката, ако са защитни;
- режим на работа и честота на включване;
- вид на монтажа и присъединяване на изводите;
- условия на околната среда;
- трайност.

V. Защитни табла

Защитните табла представляват комплект от апарати, предназначени за подаване на напрежение, включване, изключване и защита на електрообзавеждането. Защитите, които могат да се осъществят, са следните:

- токова – срещу претоварване, къси съединения и други повреди;
- напрежениова – срещу понижено напрежение (най-често) или срещу повишено (по-рядко);
- нулева – не позволяваща включване на електрически двигатели и механизми, ако всички контролери и командоконтролери не са поставени в нулево (начално) положение (използва се най-често при кранове);
- крайна – ограничава обсега (зоната) на движение на даден механизъм;
- срещу недопустима скорост или ускорение;
- срещу недопустимо при дадени условия реверсиране;
- за осигуряване на техническата безопасност на обслужващия персонал и др.

Използват се само необходимите и достатъчни за нормална работа защити при дадени механизми.

Тема 7. ВИДОВЕ КРАНОВЕ. МЕХАНООБЗАВЕЖДАНЕ НА КРАНОВЕ.

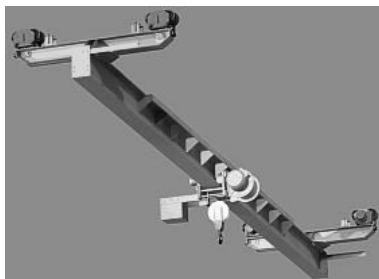
I. Видове кранове

Крановете са едни от най-разпространените подемно-транспортни агрегати с общо промишлено предназначение. Представяват съчетание на подечни механизми с механизми за преместване, при което могат да извършват товарно-разтоварни технологични и монтажни операции за издигане, спускане и преместване на товари. Товарите се закачат свободно или пренасят чрез захватни приспособления. Извършваните операции са прости, но освобождават човека от тежък физически труд. Действието на крановете и на отделните им механизми е периодично.

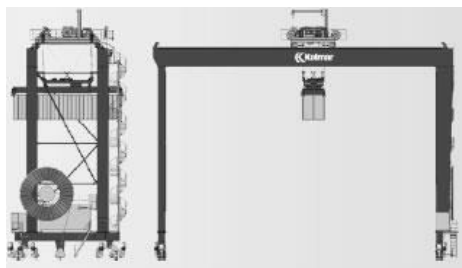
Основните типове кранове по конструктивни особености се делят на две големи групи:

- *Двуопорни;*
- *Стрелови.*

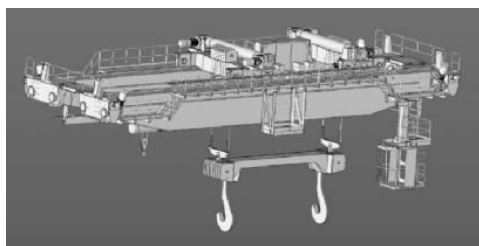
Към двуопорните кранове се отнасят мостовите, порталните, кабелните и претоварващите. Най-разпространени от тази група са *мостовите кранове* (фиг. 7.1, 7.2 и 7.3). Носят наименованието си от основната носеща метална конструкция, наречена мост, движеща се върху релси. Върху моста се движи количка, на която е монтиран подемен механизъм. Управлението се осъществява от кабина, закрепена също на моста. Най-голямо приложение имат в промишлеността.



Фиг. 7.1



Фиг. 7.2



Фиг. 7.3



Фиг. 7.4

Разновидност на мостовите са *порталните (козлови) кранове* – фиг. 7.4. Използват се при открити складове, в строителството и др. При вътрешни складове се използват *полупортални кранове*. При много големи складове за насипни материали се използват *претоварващи кранове* – разновидност на порталните. Претоварват материали от подвижен транспорт на склад

или от склад чрез лентов или друг транспорт към производството. Имат висока производителност.

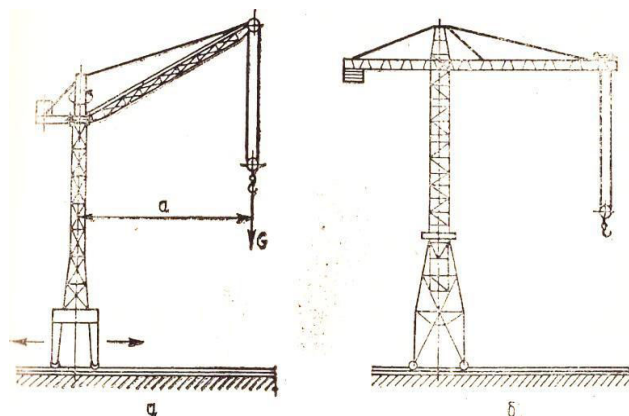
При много големи строителни обекти (язовири, мостове), открити рудници, кораборемонтни и корабостроителни предприятия и др., когато обслужваните обекти имат дължина на работната площадка $400 \div 800$ дори над 1000 тона, ролята на мост изпълняват стоманени въжета, опънати между опорни мачти, по които се движи количка. Това са така наречените *кабел-кранове*.

Стреловите кранове (фиг. 7.5) се използват предимно в строителството, пристанищата, а по-ограничено и в предприятията. Основните движения са вертикално преместване на товара, въртене, в някои случаи изнасяне на стрелата. Привидно те са едноопорни.

На фиг. 7.6 са показани стрелови кранове, използвани в строителството – *кула-кранове*. Кулата се върти, а обсегът на действие се изменя чрез движение на количката по стрелата или чрез изменение на наклона на стрелата.



Фиг. 7.5. Стрелови кран



Фиг. 7.6. Кула-кранове с изменение наклона на стрелата (а) и с количка (б)

II. Механообзавеждане на кранове

Основните елементи на механообзавеждането са:

1. Носеща метална конструкция

Най-често срещана носеща метална конструкция е мостът. Това е най-отговорната част на механообзавеждането. Върху моста се монтират всички механизми, по него се движи количката. Светлият отвор на моста достига 5 до 50 m. При малки кранове мостът има една носеща греда, при тежкотоварни – 2 и 4. Върху конструкцията на моста се монтират площадки за монтаж на редуктори, електрически двигатели, спомагателни тролей, резистори и др. Площадките са проходими и трябва да имат парапет с височина, не по-малка от един метър. Като носеща метална конструкция могат да се използват още портал, кука, мачта или стрела.

2. Механизъм за придвижване на моста

Кранът се премества по релси, разположени върху подкрановия път. Мостът се разполага върху ходови колела (4 до 16 броя), от които най-малко две са водещи. Механизмът за придвижване се състои от електрически двигател D , спирачка C , редуктор P , трансмисионен вал B и ходови колела K . В зависимост от мястото на редуктора трансмисионният вал може да бъде бавноходен или бързоходен.

$$P_2 = P_{\text{мех}} - M \cdot \Omega; \quad M = \frac{P}{\Omega}$$

1) При бавноходен вал последователността на свързване на елементите е: $D - C - P - B - K$. Редукторът се монтира в средата на моста. Валът е тежък, с големи размери, но при малката му скорост не се нуждае от голяма точност при монтажа.

2) При бързоходен вал последователността на свързване на елементите е: $D - C - B - P - K$. Трансмисионният вал има малък диаметър и тегло, но изисква по-голяма точност при монтажа.

Възможно е да се използва система за синхронно въртене на колелата от двете страни на моста, без да е нужна механична връзка – „електрическа връзка“, като се използват специални схеми за синхронизиране на скоростта (с т.нар. селсини).

3. Количка

Разполага се с ходовите си колела на релси върху гредите на моста. Механизмът за придвижване е подобен на този на моста на система бавноходен вал поради късите разстояния. Върху количката е монтиран подемният механизъм, предназначен за издигане и спускане на товарите. Изпълнява се по различни кинематични схеми. При някои кранове на една и съща количка може да са монтирани по два подемни механизма. Има случаи, при които подемните механизми са монтирани на отделни колички, които се движат по общ релсов път или по отделни релсови пътища.

4. Кабина

От нея се осъществява управлението на крана. Нормално е закрепена в долната част на моста или в средата му. Много рядко е закрепена за количката и се движи с нея. Конструктивното изпълнение на кабината зависи от условията на околната среда. При работа на открито или в замърсена атмосфера кабините са затворени, остъклени. При работа в студена или гореща среда се монтират климатични уредби, поддържащи в кабината постоянна температура $22 \div 26^\circ\text{C}$. Апаратурата за управление се разполага удобно пред краниста. Въртенето на воланите на контролерите или движението на ръкохватките на командоконтролерите трябва да отговаря на посоката на движение на механизмите. Съгласно изискванията по техническа безопасност в кабината трябва да има аварийен бутон, блок-контакти на вратите и люковете, звукова сигнализация (електрическа и друга), а също и подвижна стълба за аварийно слизание.

5. Товарозахващащи приспособления

Главните изисквания към тях са: бързо, просто и лесно захващане и освобождаване на товара с оглед намаляване на спомагателното време и увеличаване производителността на крана. Най-разпространено и универсално товарозахващащо приспособление е *куката*. За пренасяне на насипни товари се използват различни видове *грайфери*. Конструкцията им наподобява челюсти, които се отварят и затварят. Всички операции: загребване, затваряне, отваряне и изсипване, са механизирани и управлявани от кабината. *Кофите* пренасят най-често метали в течно състояние преди разливане и по-рядко насипни товари. Крановете с кофи имат и втори подемен механизъм за наклоняване и изсипване на кофата. *Клещите* служат за пренасяне на метални блокове, като захващането става на принципа на самозатягането. *Вилици* се използват за пренасяне на метални и други предмети, а *греди* и *платформи* – за закачане или пренасяне на специални по форма, тежки или обемисти товари. *Товарните електромагнити* привличат и пренасят железни отпадъци, детайли и други феромагнитни предмети.

6. Спирачни устройства към отделните механизми

Чрез тях механизмите се задържат неподвижно в определено положение, например закачен издигнат товар, пречещо движението, предизвикано от вятър, и др. Освен това принудителното бързо спиране намалява непроизводителното време.

Най-често използваните спирачни устройства са механични, които преобразуват кинетичната енергия в топлинна. С помощта на пружини или тежести те притискат триещи се части, като постоянно са задействани. Освобождаването им става обикновено с помощта на електромагнит.

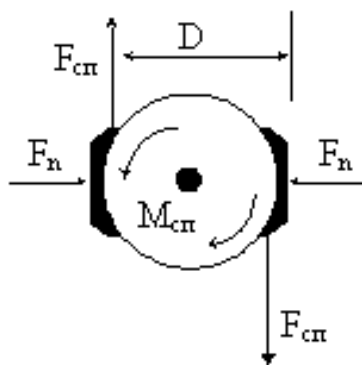
Механичните спирачни устройства биват челюстни, лентови и дискови. Обикновено се монтират на вала на двигателя, където честотите на въртене са големи, а размерите им малки.

На фиг. 7.7 са показани спирачните сили и моменти при едностранно и двустранно триене на челюсти върху барабан.

Спирачният момент $M_{\text{сп}}$ е обратно насочен на посоката на движението. Спирачната сила $F_{\text{сп}}$ се създава от триенето на челюстите върху барабана при притискане със сила F_n . За едностранно притискане:

$$M_{\text{сп}} = F_{\text{сп}} \cdot R \quad (7.1)$$

$$\text{а за двустранно} \quad M_{\text{сп}} = F_{\text{сп}} \cdot D \quad (7.2)$$



Фиг. 7.7. Спирачни сили и моменти

Осигуряването на определен по големина спирачен момент при различни диаметри на спирачния барабан ще се получи от различни спирачни сили и сили на притискане.

За определена спирачна система трябва да се избере електромагнит. Необходимо е да се знае преди всичко спирачният момент $M_{\text{сп}}$. Той се определя с известен запас чрез максималния статичен момент на вала на механизма. Коефициентът на запас е $1,5 \div 2,5$ (лек режим 1,5; среден – 1,75; тежък – 2 и твърде тежък – 2,5).

Спирачната сила $F_{\text{сп}}$ се определя чрез $M_{\text{сп}}$ и размерите на барабана по формули (7.1) и (7.2).

Силата на притискане на челюстите $F_{\text{п}}$ ще бъде:

$$F_{\text{п}} = \frac{F_{\text{сп}}}{\mu}$$

където:

- μ е коефициентът на триене на притискането (обикновено се приема $\mu = 0,35 \div 0,45$ при триене на феродо по чугун или стомана и $\mu = 0,25 \div 0,30$ при възможност по тези повърхности да попадне масло или грес).

Тема 8. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ И РЕЖИМИ НА РАБОТА НА КРАНОВЕТЕ. ТЕХНОЛОГИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ КРАНОВОТО ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ.

I. Основни параметри и режими на работа на крановете

Характеризиращи параметри за работата на крановете са: товароподемност, производителност, скорост на движение и режим на работа.

1. Товароподемност – G_H

Това е теглото на номиналния товар за издигане, за който е оразмерен кранът. В него се включва и теглото на всички допълнителни приспособления за захващане на товара, а също и теглото на несменяемите товарозахващащи приспособления. По товароподемност крановете се делят на три групи:

- малки – до $50 \div 100$ kN;
- средни – $100 \div 500$ kN;
- големи – над 500 kN.

Налични са кранове с два подемни механизма, които се означават с дробна черта – например: 1000/200 kN, 200/50 kN и др. Крановете достигат товароподемност 6300 kN. У нас се изработват масово до 1500 kN.

2. Производителност – Π

Производителността на крана се определя от средната продължителност на един цикъл на товарно-разтоварните работи. Ако определен товар се обработва за цикъл $t_{ц,ср}$, то производителността на крана ще бъде:

$$\Pi = \frac{1}{t_{ц,ср}}$$

3. Скорост на движение

При мостови кранове скоростите за движение са:

- подемен механизъм – до 0.5 m/s;
- количка – до 1.0 m/s;
- мост – до 3.0 m/s.

При големи претоварващи и портални кранове се достигат скорости за подемния механизъм до 2.0 m/s, а за количката – до 7.5 m/s. При въртящи се кранове се допускат честоти на въртене до 3 min^{-1} , но най-голямата периферна скорост на въртящи се части не трябва да превишава $5 \div 6$ m/s.

При кранове, предназначени за точни операции, електрозадвижването трябва да осигурява устойчиви скорости за определени механизми, $10 \div 100$ пъти по-ниски от номиналната.

4. Режими на работа:

Работата на крановете се характеризира с периодичността на изпълняваните операции. Режимите на работа на крановете се различават дори при еднотипни кранове. Това се отнася за даден механизъм за големината на товара, продължителност и честота на включване. Режимите на работа са разделени на четири групи:

лек	Л	До 60	вкл/час	ПВ 15 ÷ 25 %	Околна среда до 25°C
среден	С	120	вкл/час	ПВ 15 ÷ 40 %	Околна среда до 25°C
тежък	Т	240	вкл/час	ПВ 25 ÷ 60 %	Околна среда до 25°C
твърде тежък	ТТ	300÷600	вкл/час	ПВ 40 ÷ 60 %	Околна среда до 45°C

Режимът на работа на крановите механизми и електрообзавеждането им се определя от следните фактори:

1) Средна натовареност на механизма – K_T :

Натоварването на отделните кранови механизми се колебае в широки граници. При подемните механизми на обикновените кранове (с кука) натоварването се оценява със средното натоварване на механизма по товароподемност

$$K_T = \frac{G_{cp}}{G_H}$$

където:

- G_{cp} – средно натоварване на смяна;
- G_H – номинална товароподемност.

При подемни механизми с тежки товарозахващащи приспособления (над 20% от номиналната товароподемност), а също и при механизмите за хоризонтално преместване K_T се отчита с вземане под внимание на собственото тегло G_0 на товарозахващащото приспособление, количката или моста:

$$K_T = \frac{G_{cp} + G_0}{G_H + G_0}$$

2) Коефициент на годишно използване на механизма – K_r :

$$K_r = \frac{N_r}{365}$$

където N_r – брой на работните дни в годината.

3) Коефициент на денонощно използване на механизма – K_d :

$$K_d = \frac{N_d}{24}$$

където N_d – брой на работните часове в денонощието.

II. Основни технологични изисквания към крановото електрообзавеждане

1. Висока транспортна производителност

Висока производителност може да се осигури чрез повишаване на скоростта на движението. Намаляване на времената на преходните процеси при пускане и спиране, както и тези за спомагателните операции по захващане и освобождаване на товара също води до повишаване на производителността. Тези възможности се ограничават от допустимите ускорения/забавяния и скорости.

2. Точно спиране

Точното спиране на товароухващащите приспособления на подемните механизми в дадени позиции се определя чрез допустимата грешка $\Delta S_{\text{доп}}$, която например при монтажни кранове достига до $[5 \div 10]$ mm. Най-важното условие за постигане на точно спиране е осигуряване на ниска скорост на механизма преди започване на спирането. Тази скорост $\vartheta_{\text{тс}}$ може да се определи от:

$$\vartheta_{\text{тс}} = \sqrt{\Delta S_{\text{доп}} \cdot K_{\text{тс}}^{-1}}$$

където $K_{\text{тс}}$ е коефициент, зависещ от конкретния механизъм и системата на електрозадвижване (отчита се от справочници).

Голямо влияние върху точното спиране оказва и големината на статичния товар, границите за изменението му, а също и големината на спиращия момент.

3. Ограничаване на динамичните натоварвания

Това се налага преди всичко от ограничената издръжливост на елементите на механообзавеждането. Трябва обаче да се държи сметка още за неприятните физиологични усещания на краниста, буксуването на ходовите колела, разлюляване на товара и др.

Максимално допустимите натоварвания при преходните процеси се определят от допустимите ускорения, които зависят от технологичния процес и механообзавеждането. Напр., при издигане на течен метал, чупливи предмети или при монтаж допустимото ускорение е $0,1 \text{ m/s}^2$; за подемни механизми на монтажни и металургични цехове $0,2 \div 0,5 \text{ m/s}^2$; за грайферни кранове – $0,8 \text{ m/s}^2$. При механизмите за движение на кранове, пренасящи течни метали, чупливи предмети или предназначени за монтажни работи, допустимите ускорения са под $0,1 \div 0,2 \text{ m/s}^2$, а при механизмите за въртене – $0,5 \div 1,2 \text{ m/s}^2$.

Допустимото ускорение се ограничава още от условието да няма буксуване. За да не се допусне буксуване ускорението се определя от големината на силата на сцеплението между ходовите колела и релсата:

$$\frac{G \cdot a}{g} \leq G\mu$$

където:

- G е теглото на крана;
- g – земното ускорение;
- a – ускорението (забавянето);
- μ – коефициент на триене между ходовите колела и релсата.

Освен големите динамични натоварвания при преходните процеси е възможно да възникват и ударни натоварвания. Това е особено подчертано при кранове със сложна и дълга кинематична схема. При включване на електрическият двигател хлабините в предавките и възетата се обират. Когато електрическият двигател вече се е развъртял до честота на въртене, близка или равна на номиналната, движението достига до крайните елементи и се предава ударно, защото се явява разлика в честотите на въртене в началото и края на кинематичната схема. Това е опасно, достига се до изронване на зъбни колела, счупване или скъсване на валове, или в повечето случаи до по-бързо износване на елементите на механообзавеждането.

Допълнителни натоварвания на механообзавеждането на крановите механизми възникват от разлюляване на товара. Освен допълнителните натоварвания големи разлюлявания на товара могат да предизвикат самоволното му откачане от товароухващащото приспособление, което води до тежки аварии и злополуки. Опасно е разлюляването при пренасяне на течни метали, дори само от разплискването им. Затова голямо значение имат мерките за бързо успокояване на разлюлени товари.

4. Граници за регулиране

Границите за регулиране на скоростта на даден кранов механизъм затварят помежду си цяла област. Между максималната и минималната скорост при зададена твърдост на механичните характеристики трябва да се разположат необходимият брой и със съответна форма характеристики, в зависимост от предназначението на крана и технологичните операции. При част от крановете за някои от движенията освен номиналната скорост, определена от условието за максимална транспортна производителност, е необходима и ниска устойчива скорост за различни цели: точно спиране, меко захващане и освобождаване на товара и др. Често ниската скорост е до 50 (100) пъти по-малка от номиналната.

Тема 9. ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО НА КРАНОВЕ

I. Общи сведения

Електрообзавеждането на кранове обхваща:

- Токозахранване;
- Токоотнемане;
- Защитно табло;
- Двигатели;
- Апарати за управление и защита;
- Проводници и тролей;
- Спирачни електромагнити;
- Резистори;
- Командоапарати – контролери;
- Подемни електромагнити;
- Осветление.

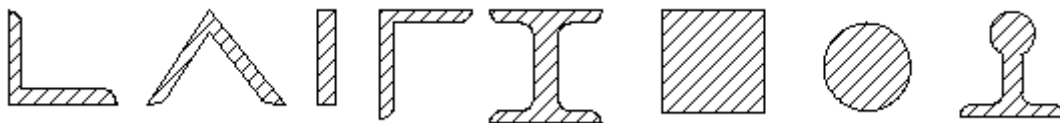
Условията на работа при повечето кранове са тежки: периодичен режим с чести включвания (S4), запрашена, замърсена или влажна среда, резки температурни изменения, сътресения и др.

II. Токозахранване и токоотнемане

За неподвижните кранове токозахранването не създава трудности. За подвижните кранове са необходими специални устройства за токозахранване и токоотнемане. Токозахранването бива: контактно и безконтактно.

1) Контактно токозахранване – то е по-често прилагано; осъществява се чрез твърди или гъвкави тролейни проводници (тролеи) – 3 броя при трифазен променлив ток и 2 броя при постоянен ток.

Тролейните проводници обикновено са стоманени профили, при което токоотнемането става чрез триене. На фиг. 9.1 са показани както отделни сечения на профили, така и разположението им спрямо хоризонталната им равнина.



Фиг. 9.1. Сечения на профили

Допуска се разлика в нивелацията на тролейните проводници ± 2 до 5 mm. Тролеите се захранват кабелно или с проводници през предпазители или с предпазители и автоматичен прекъсвач.

2) Безконтактно токозахранване – то се осъществява чрез гъвкави проводници и няма подвижно токоотнемане с триене на контакти; използва се за пожаро- и взривоопасни строителни обекти, при ограничено късо разстояние за движение на подвижния механизъм, при кранове на открито и др.

Безконтактното токозахранване се осъществява с гъвкав кабел, окачен на ролки, движещи се по релса. *Гъвкавият кабел трябва да има доста-*

тъчна дължина при разтягане, за да обслужва подвижната количка по целия път на движението ѝ. Вместо движение по ролки гъвкавият кабел може да се навива или развива по барабан, монтиран върху подвижен механизъм.

3) Токоотнемане – при контактното токозахранване е чрез триене или търкаляне – по-често се използва чрез триене. При други конструкции на тролите контактното токозахранване може да бъде чрез ролки и пантограф, само пантограф или други начини.

III. Защитно табло

Чрез защитното табло се осъществяват всички защиты на механизмите на крана и се прекъсва електрозахранването му. Конструктивно е изпълнено като метален шкаф, в който са монтирани апаратите за управление и защита. В таблата има максималнотокови защиты (МТЗ) за някои отделни механизми (подемен, количка и мост).

Защитните табла се различават според вида на тока и броя на защитаваните двигатели.

Предвидени са изключватели за достигане на крайни положения. Контактите са отделени по механизми.

IV. Електрически двигатели и електрозадвижвания

Главните изисквания към крановите електрозадвижвания са:

- 1) Номинална скорост при номинален товар и повишена скорост при малък товар;
- 2) Издръжливост при сътресения и претоварвания;
- 3) Ниски (пълзящи) скорости за монтажни, леярски, пристанищни и други кранове.

За изисквания 1) и 3) са подходящи ПТД с последователно възбуждане, но те изискват източник на постоянен ток, имат големи габарити и тегло, скъпи са и с нисък к.п.д. Въпреки това те са подходящи при широки диапазони на регулиране на скоростта.

Във всички случаи с по-ниски изисквания са подходящи: АДНСР (АД с накъсосъединен ротор) и АДНР (АД с навит ротор). Електрическите двигатели за кранови механизми са затворени, обдухваеми. Те имат повишена механична издръжливост, голяма претоварваща способност (до $2,5 \div 3$ пъти), малък инерционен момент.

Като цяло крановите електрически двигатели имат по-нисък к.п.д. и по-нисък фактор на мощността в сравнение с тези нормално изпълнение.

V. Пусково-регулирущи резистори

Предназначени са за пускане, спиране, противовключване и регулиране на скоростта. През тях протичат големи токове и загубата на електрическата енергия е във вид на топлина.

Материали за изработване: в миналите години широко се използваха резистори, отлети от чугуneni елементи, но поради малката им механична издръжливост се срещат рядко. Понастоящем за кранови механизми се използват резистори, направени от специални сплави: фехрал (до 850°C),

константан (до 400°C) и др. Специфичното им съпротивление е високо (0,3 до 1,0). $10^{-6} \Omega m$ и почти не се изменя с нагряването им. Допустимата плътност на тока им е от 3 до 6 A/mm². Недостатък – скъпи са.

VI. Други апарати, проводници и осветление

1. Командни апарати, контролери

Това са многопозиционни апарати за превключвания в силови и оперативни вериги. Чрез тях се осъществява пускане, спиране, регулиране на скоростта, промяна на посоката на въртене. Биват силови и магнитни.

1) Силови контролери – при тях задвижването и управлението стават ръчно по механичен начин чрез волан и ръкохватка.

2) Магнитни контролери – представляват система от апарати, свързани по определена схема. Чрез команден апарат – командоконтролер, се подават команди, а всички включвания и превключвания в силовите и оперативните вериги се извършват от контактори и релета. Управлението е дистанционно и облекчено. Тези контролери намират широко приложение при кранове с напрегнат режим на работа и над 600 броя включвания за час.

2. Спирачни електромагнити

Предназначени са за освобождаване на механичните спирачки, а в някои случаи и за регулиране на скоростта.

Спирачните електромагнити биват: променливотокови (трифазни или еднофазни) и постояннотокови. По хода на подвижната си част (котвата) биват: късоходови (ход до няколко mm) и дългоходови (ход до няколко cm). Параметрите им са: работно напрежение, тягова сила, ПВ и допустим брой включвания за час. Променливотоковите не трябва да остават с отворен електромагнит, защото тогава бобините им изгарят от големия пусков ток.

3. Проводници и спомагателни тролей

Проводниците за крановите механизми трябва да бъдат бронирани при самостоятелно полагане или положени в тръби. Те трябва да бъдат: гъвкави, многожични, с минимално сечение 2,5 mm². Всички тоководещи части трябва да се заземяват.

4. Осветление

За крановете са необходими два вида осветление: вътре в кабината и за ремонт и прегледи на механизмите за площадките под крана.

Осветлението за кабината и ремонт трябва да бъде с безопасно напрежение и да работи при изключен кран. Осветлението за площадките може да бъде 230 V. При променливотоково трифазно захранване на крановете осветителните тела се симетрират (разделят се равномерно по трите фази).

Тема 10 . СТАТИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ ПРИ КРАНОВИТЕ МЕХАНИЗМИ

I. Общи положения

Статичните моменти при крановите механизми се обуславят или пораждат от силите на триене и теглото. Тези сили могат да действат както срещу движението (реактивни) така и по посока на движение (потенциални). Силите на триене са винаги реактивни, срещу движението.

Потенциалните сили са теглото на товара и действието на вятъра. Статичните моменти зависят от товара, който се премества, скоростта на движение, собственото тегло на подвижната част, наклона на пътя, вятъра и загубите в самия механизъм. Най-често статичните сили и моменти се привеждат към вала на електрическия двигател.

II. Статични натоварвания при подемните механизми

Статичните натоварвания при подемните механизми се създават от теглото на товара и товарозахранващото приспособление.

1. Издигане на товар

Статичната мощност P_n при издигане, приведена към вала на двигателя, е:

$$P_n = \frac{(G + G_o) \cdot V}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

където:

- G и G_o – тегла на издигания товар и товарозахващащото приспособление, N;
- V – скорост на издигане на товара, m/s ;
- η – к.п.д. на подемния механизъм, отчитащ загубите от триене в редукторите, барабана, лагерите, блоковете (ролките на полиспаста) и др.

Статичният момент при издигане ще бъде:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_d} = \frac{(G + G_o) \cdot V}{\omega_d \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \quad [kN]$$

където: ω_d – ъглова скорост на двигателя, rad/s .

От своя страна линейната скорост на издигане се изразява със следния израз:

$$V = \omega_b \frac{D_b}{2}$$

където:

- ω_b – ъглова скорост на барабана, rad/s ;
- D_b – диаметър на барабана, m.

$$M_{\text{и}} = \frac{(G + G_o) \cdot D_{\text{с}}}{2 \cdot i \cdot \eta}$$

където i – предавателно число на редуктора.

Поради това, че на табелката на електрическия двигател е дадена честотата на въртене n , много често се използва друг израз:

$$M_{\text{и}} = 9,55 \frac{(G + G_o) \cdot V}{\eta \cdot n_{\text{д}}}$$

където $n_{\text{д}}$ – честота на въртене на двигателя, min^{-1} .

При издигане на номинален товар мощността и моментът са следните:

$$P_{\text{ин}} = \frac{(G_{\text{н}} + G_o) \cdot V_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

$$M_{\text{ин}} = \frac{(G_{\text{н}} + G_o) \cdot V_{\text{н}}}{2 \cdot i \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad [N.m]$$

2. Коефициент на полезно действие (к.п.д.)

К.п.д. очевидно изменя стойността си и зависи от големината на товара и посоката на движение.

Общият к.п.д. за дадена кинематична верига е произведение от к.п.д. на отделните ѝ елементи.

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n = \sum_{i=1}^n \eta_i$$

Предавки, при които к.п.д. не зависи от посоката на предаване на енергия, се наричат нелинейни. Напр., двойка зъбни колела или полиспаст.

Предавки, при които к.п.д. силно зависи от посоката на предаване на енергията се наричат нелинейни. Напр., червячните предавки.

При крановите механизми предавките обикновено са линейни и к.п.д. зависи преди всичко от товара. От теоретичните и експериментални изследвания за изменението на к.п.д. в зависимост от товара при различни предавки (кинематични схеми) са определени криви.

К.п.д. може да се изчисли при съответно натоварване G и отношение α с помощта на следния израз:

$$\eta = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{н}}} + \frac{0,075}{\alpha} - 0,075}$$

$\alpha = (G + G_o) / (G_H + G_o)$ – отношение на натоварването.

3. Спускане на товар

При спускане на товар са възможни два режима:

- силово спускане;
- спирачно спускане.

Силовото спускане е принудително и се прилага при малки товари. Тези малки товари не могат да създадат момент, който да преодолее силите на триене в механизма. Затова спускането трябва да се извърши чрез електрическия двигател. При големи товари, ако спирачната система е освободена и електрическият двигател е изключен, би се получило спускане с непрекъснато ускоряване.

Затова е необходимо електрическият двигател да е включен и да създава момент, противоположен на този от товара. Електрическият двигател служи за спирачка, за това спускането се нарича *спирачно спускане*. При спускане статичната мощност и статичният момент са следните:

$$P_c = (G + G_o) \cdot V' \cdot \eta' \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

$$M_c = \frac{D_{\delta} \cdot (G + G_o)}{2 \cdot i} \cdot \eta', \quad [N.m]$$

където:

- V' и η' – скорост и к.п.д. при спирачно спускане.

$$V' \approx V \quad n_d' \approx n_d$$

К.п.д. при издигане се различава от к.п.д при спускане.

За издигане на товара е необходим момент $M_{и}$, който се състои от две части:

- 1) ΔM – за преодоляване на загубите в механизма (в триенето);
- 2) M_{τ} – за преодоляване на товара.

При спускане също се преодоляват загубите (ΔM) и товарът (M_{τ}).

Обикновено се приема, че:

$$\Delta M = \Delta M_c = \Delta M$$

$$M_{и} = \Delta M + M_{\tau}$$

$$\Delta M = M_{и} - M_{\tau} = \frac{(G + G_o) \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i \cdot \eta} - \frac{(G + G_o)}{2 \cdot i} \cdot D_{\delta} = M_{\tau} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

$$M_c = M_{\tau} - \Delta M = M_{\tau} - M_{\tau} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = M_{\tau} \left(2 - \frac{1}{\eta} \right) \quad (1)$$

От друга страна, моментът при спускане е:

$$M_c = \frac{D_{\delta} \cdot (G + G_o)}{2 \cdot i} \cdot \eta' = M_{\tau} \cdot \eta' \quad (2)$$

От (1) и (2) следва връзката между к.п.д. при спускане и к.п.д. при издигане:

$$\eta' = 2 - \frac{1}{\eta}$$

III. Определяне на статичните натоварвания при механизмите за придвижване, въртене и изменение на обсега на стрелата

Най-характерните представители на механизмите за придвижване са тези за движението на моста и количката на мостовите кранове. Придвижването нормално се извършва по хоризонтална равнина.

Мощността при преместване P в [kW] ще бъде:

$$P = \frac{F \cdot V}{\eta} \cdot 10^{-3}$$

където:

- F – съпротивителна сила при движението, N;
- V – скорост на движение, m/s;
- η – к.п.д. на механизма при движение.

Съпротивителната сила при движение се определя от загубите за преодоляване на триенето. Тази сила е реактивна.

Силата, породена от триенето, има три основни части:

- триене при търкаляне на ходовите колела по релсов път;
- триене в лагерите на колелата;
- триене на ребордите на колелата в релсите.

Силата от триене при търкаляне на ходовото колело по релсата за точка от окръжността на колелото е:

$$F_k = \frac{G_k \cdot f}{R_k}, \quad [N]$$

където:

- G_k – тегло, действащо върху колелото, N;
- f – коефициент на триене при търкаляне между ходовото колело и релсата, m; зависи от материала и състоянието на повърхностите; изменя се от: $f = 0,0009 \div 0,0012$;
- R_k – радиус на ходовото колело, m;

Силата на триене в шийката на лагера на колелото $F_{\text{л}}'$ в [N] е:

$$F_{\text{л}}' = G_k \cdot \mu,$$

където:

- μ – коефициент на триене на шийката на вала на колелото в лагера; за плъзгащи лагери има стойности: $\mu = 0,08 \div 0,15$, а за търкалящи: $\mu = 0,01 \div 0,05$.

За да можем да съберем F'_l с F_k трябва да я приведем към окръжността на колелото:

$$F_l = \frac{G_k \cdot \mu \cdot r_l}{R_k},$$

където: r_l – радиус на шийката на вала на колелото в лагера, m.

Триенето на ребордите на колелото в релсата се отчита с коефициента k . При количка с триещи лагери $k = 1,25 \div 1,6$ ($k_{cp} = 1,4$), а с плъзгащи лагери $k = 2,5 \div 3,2$ ($k_{cp} = 2,8$). При механизма за придвижване на моста съответно: $k = 1,5 \div 2,0$ и $k = 2,5 \div 4,0$. С коефициента k се увеличава общата съпротивителна сила.

Общата съпротивителна сила F_c в [N], породена от триенето ще бъде:

$$F_c = k \left(\frac{G_k \cdot f}{R_k} + \frac{G_k \cdot \mu \cdot r_l}{R_k} \right) = \frac{k \cdot G_k}{R_k} \cdot (f + \mu \cdot r_l),$$

Ако G е теглото на товара, G_o , а теглото на движещата се конструкция (мост, количка), общото тегло G_k , ще бъде:

$$G_k = G + G_o$$

Ако като z се обозначи броят на колелата на крана, общата сила ще бъде:

$$F_c = k \cdot z \cdot \frac{G + G_o}{z \cdot R_k} (f + \mu \cdot r_l) = k \cdot \frac{(G + G_o)}{R_k} \cdot (f + \mu \cdot r_l)$$

Необходимата статична мощност P_c за преодоляване на триенето ще бъде:

$$P_c = k \cdot \frac{(G + G_o)}{R_k} \cdot (f + \mu \cdot r_l) \cdot \frac{v}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

$$P_c = \frac{P_c}{\omega_d} = \frac{k \cdot (G + G_o) \cdot (f + \mu \cdot r_l) \cdot \omega_d \cdot R_k}{R_k \cdot \omega_d \cdot \eta} = \frac{k \cdot (G + G_o) \cdot (f + \mu \cdot r_l)}{i \cdot \eta}$$

където:

- ω_k – ъглова скорост на колелото, rad/s;
- ω_d – ъглова скорост на електрическия двигател, rad/s;
- $i = \frac{\omega_d}{\omega_k}$ – предавателно отношение на механизма;
- $v = \omega_k \cdot R_k$ – линейна скорост на колелото;
- η – к.п.д. на механизма.

**Тема 11. ДИНАМИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ ПРИ КРАНОВИ
МЕХАНИЗМИ. ПРИВЕЖДАНЕ НА (ИНЕРЦИОННИ) МАХОВИ
МОМЕНТИ КЪМ ВАЛА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ДВИГАТЕЛ.
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВРЕМЕНАТА НА ПУСКАНЕ И СПИРАНЕ НА
МЕХАНИЗМА**

I. Динамични натоварвания при крановите механизми

Динамичните натоварвания възникват при преходните процеси (пускане, спиране, изменение на скоростта и др.). При крановите механизми, които имат големи маси, отчитането на динамичните натоварвания има голямо значение за определяне на мощността на електрическите двигатели и времетраенето на преходните процеси.

При пускане електрическите двигатели трябва да създават двигателен момент M_d , който преодолява статичния съпротивителен момент M_c и динамичния момент $M_{дин}$, необходим за привеждане в движение на масите:

$$M_d = M_c + M_{дин}$$

Динамичният момент $M_{дин}$ по големина и знак зависи от двигателния M_d и съпротивителния M_c

$$\pm M_d \mp M_c = M_{дин}$$

Очевидно той не е самостоятелен, а зависи от изменението на M_d и M_c по големина и знак.

От учебната дисциплина Автоматизирано електрозадвижване е известно, че при въртливо движение $M_{дин}$ в [Nm] е:

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}$$

При повечето механизми, с изключение на ковашко-пресовите машини, бутални компресори и някои други подобни, $J = \text{const}$ и горният израз добива по-кратък вид:

$$\pm M_d \mp M_c = M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}$$

От анализа на десния израз се вижда, че са възможни следните три случая:

1. $M_{дин} > 0$, тъй като винаги $J > 0$, следователно $\frac{d\omega}{dt} > 0$ от което следва, че скоростта на електрозадвижването се увеличава.
2. $M_{дин} < 0$, тъй като $M > 0$, следователно $\frac{d\omega}{dt} < 0$, от това следва, че механизмът се забавя или е налице равнозакъснително движение;
3. $M_{дин} = 0$ ($M_d = M_c$), $J > 0$, $\frac{d\omega}{dt} = 0$ $\omega = \text{const}$ и работи в установен режим.

Електрическият двигател трябва да създава момент:

$$M_d = M_c + M_{\text{дин}} = M_c + J \frac{d\omega}{dt}$$

В каталозите за роторите на електрически двигатели и други въртящи се части се дават данни за маховия момент GD^2 [Nm^2] или инерционния момент J [kgm^2]. Има изрази за определяне на GD^2 , където: G е теглото на въртящата се част, а D – инерционният диаметър.

Връзката между тях е:

$$GD^2 = 4gJ, \quad [\text{Nm}^2]$$

където:

- g – земното ускорение: $9,81 \text{ m/s}^2$;
- J – [kgm^2].

Отчитайки тази връзка за уравнението на движението се получава:

$$\pm M_d \mp M_c = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

При системи за движение с постъпателно движещи се части уравнението на движението ще има вида:

$$\pm F_d \mp F_c = m \frac{dv}{dt}$$

където:

- F_d – двигателна сила, N;
- F_c – съпротивителна сила, N;
- m – приведена маса на постъпателно движещите се части, kg;
- $a = \frac{dv}{dt}$ – линейно ускорение на постъпателно движещите се части, m/s^2 .

Привеждане на движещите се маси към вала на електрическия двигател

Съгласно основното уравнение на движение е необходимо всички моменти, в това число и динамичните на всички въртящи се и постъпателно движещи се части да бъдат приведени към един вал на движение. Най-често се привеждат към вала на основния компонент в електрозадвижването – електрическият двигател.

При наличие на въртящи се и постъпателно движещи се части в кинематичната верига приведеният махов момент на механизма към вала на електрическия двигател при пускане ще бъде:

$$GD_{\text{пр.п}}^2 = GD_d^2 + \frac{G_1 D_1^2}{i_1^2 \eta_1'} + \frac{G_2 D_2^2}{i_2^2 \eta_2'} + \dots + \frac{G_n D_n^2}{i_n^2 \eta_n'} + \frac{4G \cdot v^2}{\omega_d^2 \eta_m'}$$

$$J_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} J \omega^2$$

където:

- $GD_{\text{пр.п}}^2$ – приведен махов момент при пускане, Nm^2 ;
- $GD_{\text{д}}^2$ – махов момент на електрическия двигател, Nm^2 ;
- $GD_1^2, GD_2^2, \dots, GD_n^2$ – махови моменти на въртящите се части;
- $i_1, i_2, \dots, i_n$ – предавателни отношения между съответните валове и вала на електрическия двигател;
- $\eta_1', \eta_2', \dots, \eta_n'$ – к.п.д. на предавките на отделните въртящи се части по време на преходния процес;
- G – тегло на постъпателно движещите се части, N ;
- v – линейна скорост на постъпателно движещите се части, m/s ;
- η_m' – к.п.д. на механизма по време на преходния процес.

Приведеният махов момент при спиране ще бъде:

$$GD_{\text{проп}}^2 = GD_{\text{д}}^2 + \frac{G_1 D_1^2}{i_1^2} \cdot \eta_1' + \frac{G_2 D_2^2}{i_2^2} \cdot \eta_2' + \dots + \frac{G_n D_n^2}{i_n^2} \cdot \eta_n' + \frac{4G \cdot v^2}{\omega_{\text{д}}^2} \cdot \eta_m'$$

където: $GD_{\text{проп}}^2$ – приведен махов момент при спиране, Nm^2 .

За практиката е най-удобно горните уравнения да се обединят така:

$$GD_{\text{пр.п}}^2 = GD_{\text{проп}}^2 = GD_{\text{пр}}^2 = \kappa GD_{\text{д}}^2 + \frac{4G \cdot v^2}{\omega_{\text{д}}^2}$$

където κ – коефициент, отчитащ маховия момент на другите въртящи се части, $\kappa = 1,05 \div 1,25$; ($\kappa_{\text{ср}} = 1,15$).

Времена за пускане и спиране на механизмите

Тези времена са свързани с производителността на даден механизъм и избирането на електрическите двигатели по момент и мощност. Определят се от уравнението на движението, решено по отношение на времето:

$$\pm M_{\text{д}} \mp M_{\text{с}} - M_{\text{дин}} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

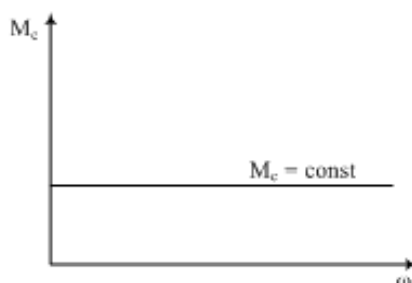
За времето t_{1-2} за изменение на ъгловата скорост от ω_1 до ω_2 се получава:

$$t_{1-2} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{(\pm M_{\text{д}} \mp M_{\text{с}})}$$

Решението е възможно, ако $M_{\text{д}}$ и $M_{\text{с}}$ са известни функции на ъгловата скорост ω . Известно е, че съпротивителният момент $M_{\text{с}}$ може да бъде по-

стоянен и независим от скоростта, да зависи от скоростта на някоя степен, да зависи от ъгъла на завъртане, да се явява функция на изминатия път или да има случаен характер.

Известно е, че при крановите механизми $M_c = \text{const}$. M_d по време на преходните процеси пускане и спиране се изменя, но с оглед на удобството се приема, че остава постоянен.



Фиг. 11.1. Съпротивителен момент на кранов механизъм

1. Пускане

Ако се приеме, че по време на пускането M_d е постоянен и равен на средния пусков момент $M_{д.ср.п.}$, при изменение на скоростта от 0 до ω_d времето на пускане t_n ще бъде:

$$t_n = \frac{GD_{пр}^2}{4g} \cdot \frac{\omega_n}{M_{д.ср.п.} - M_c}$$

$$t_n = (0,2 \div 0,4)s$$

Пускането при АДНР и ПТД се извършва чрез пускови резистори. Граничните стойности, между които се изменя моментът при пускане, определят $M_{д.ср.п.}$. Максималната стойност на момента M_{max} трябва да се редуцира за напрежение на захранване $0,9U_n$.

$$M_{пmax} = (0,9)^2 M_{max} = 0,81 M_{max}$$

Минималната стойност на пусковия момент $M_{пmin}$ се избира в граници: $M_{пmin} = (1,1 \div 1,2) M_{дн.}$, с цел да се гарантира пускането на механизма. Тогава за $M_{д.ср.п.}$ се получава следното:

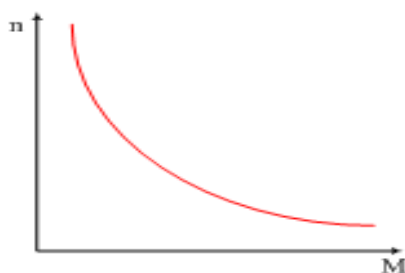
$$M_{д.ср.п.} = \frac{M_{пmin} + M_{пmax}}{2}$$

Най-често $M_{д.ср.п.}$ се определя от израза: $M_{д.ср.п.} = \alpha \cdot M_{дн.}$

Коефициентът α най-често има следните стойности:

- за АДНР – $\alpha = (1,6 \div 2,0)$;
- за ПТД с паралелно и смесено възбуждане – $\alpha = (1,6 \div 1,8)$;
- за ПТД с последователно възбуждане – $\alpha = (2,0 \div 3,0)$.

Двигатели с характеристика като на фиг. 11.2 се наричат тягови и имат способност рязко да изменят скоростта си при изменение на натоварването, затова се използват при електротранспортните средства.



Фиг. 11.2. Тягова характеристика

При АДНСР:

$$\alpha = 0,45(m_{\pi} + m_{\text{м}}) = 0,45 \left(\frac{M_{\pi}}{M_{\text{н}}} + \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{н}}} \right)$$

2. Спиране

При спиране на крановите механизми действат няколко различни момента по произход, големина и знак. Статичният съпротивителен момент, породен от триенето, подпомага спирането при моста, количката и при издигане на товара. Статичният момент при спиране на големи товари M_c (при спирачно спускане) противодейства на спирането. Спирачният момент $M_{\text{сп}}$ от механичните спирачки подпомага спирането. Макар и много рядко при крановите механизми се използва за спиране моментът на електрическия двигател, работещ в спирачен режим $M_{\text{д.сп.}}$.

При спирането от скорост $\omega_{\text{н}}$ до 0 и действащи постоянни моменти $M_{\text{сп}}$ и M_c (от триене) времето за спиране $t_{\text{сп}}$ ще бъде:

$$t_{\text{сп}} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \cdot \int_{\omega_{\text{н}}}^0 \frac{d\omega}{M_{\text{сп}} - M_c} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{(M_{\text{сп}} - M_c)}$$

Когато спирането е при спускане с големи товари (спирачно пускане):

$$t_{\text{сп}} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \cdot \int_{\omega_{\text{н}}}^0 \frac{d\omega}{M_{\text{сп}} + \Delta M_0 - M_c'} = \frac{GD_{\text{пр}}^2}{4g} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{(M_{\text{сп}} + \Delta M_0 - M_c')}$$

където:

- ΔM_0 – момент, вследствие на загубите в механизма;
- M_c' – статичен момент от големи товари (спирачно спускане).

Когато допустимите забавяния (отрицателни ускорения) на механизма $a_{\text{доп}}$ са зададени, за времето за спиране се получава:

$$t_{\text{сп}} = \frac{v}{a_{\text{доп}}}$$

За да се получи желаното време за спиране $t_{\text{сп}}$ се определят $M_{\text{сп}}$ и $GD_{\text{пр}}^2$ и ако се налага се поставя маховик.

Тема 12. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МОЩНОСТТА И ИЗБОР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОДЕМЕН МЕХАНИЗЪМ И КОЛИЧКА

I. Основни положения

При определяне на необходимата мощност на електрическия двигател за даден механизъм трябва да се познават преди всичко режимът му на работа и статичните натоварвания, приведени към вала му. Чрез маховия или инерционния момент на вала на електрическия двигател и основното уравнение на движение могат да се определят всички параметри на преходните процеси, след което да се построи точна товарова диаграма на механизма.

При използване на махов момент връзката с инерционния момент е:

$$GD^2 = 4g.J, \quad 9,81 \text{ N} = 1 \text{ kg}$$

II. Статични натоварвания при крановите механизми

Статичните моменти при крановите механизми се обуславят от силите на статичните съпротивления вследствие на триенето, теглото и др.

Статичните натоварвания при *подемните механизми* се създават от теглото на товара и товарозахващащото приспособление.

Статичните мощности $P_c \uparrow$ и моментът $M_c \uparrow$, приведени към вала на електрическия двигател, при издигане на товар се определят по следните формули:

$$P_c \uparrow = \frac{(G + G_o) \cdot V}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

$$M_c \uparrow = \frac{(G + G_o) \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i \cdot \eta} = 9,55 \frac{(G + G_o) \cdot D_{\delta}}{\eta \cdot n_d}, \quad [Nm]$$

където:

- G и G_o – тегла на издигания товар и товарозахващащото приспособление, N;
- V – скорост на издигане на товара, m/s ;
- η – к.п.д. на подемния механизъм, отчитащ загубите от триене в редукторите, барабана, лагерите, блоковете (ролките на полиспаста) и др.
- D_{δ} – диаметър на барабана, m;
- $i = \frac{\omega_d}{\omega_{\delta}}$ – предавателно отношение;
- n_d – честота на въртене на електрическия двигател, min^{-1} .

При спускане на големи товари, преодоляващи силите на триене в механизма, статичните мощности $P_c \downarrow$ и моментът $M_c \downarrow$, ще бъдат:

$$P_c \downarrow = (G + G_o) \cdot V' \cdot \eta' \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

$$M_c \downarrow = \frac{D_6 \cdot (G + G_o)}{2 \cdot i} \cdot \eta_d' = 9,55 \frac{(G + G_o) \cdot V'}{n_d'}, \quad [N.m]$$

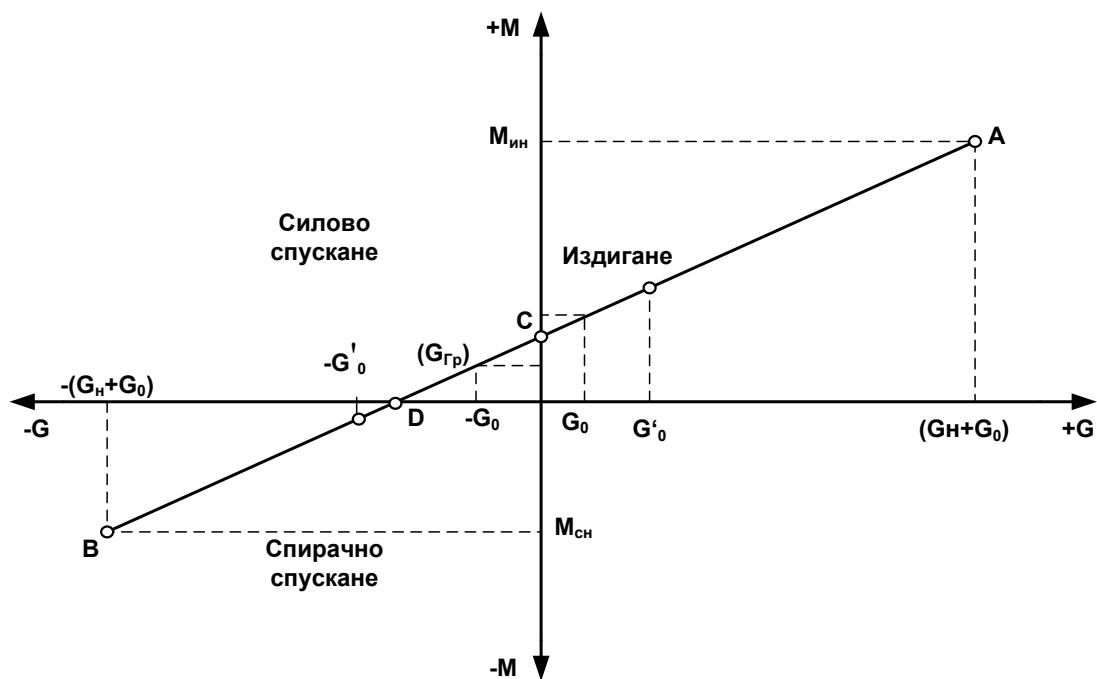
където:

$\left. \begin{matrix} V' \\ n_d' \\ \eta_d' \end{matrix} \right\}$ скорост, честота на въртене и к. п. д. при спирачно пускане.

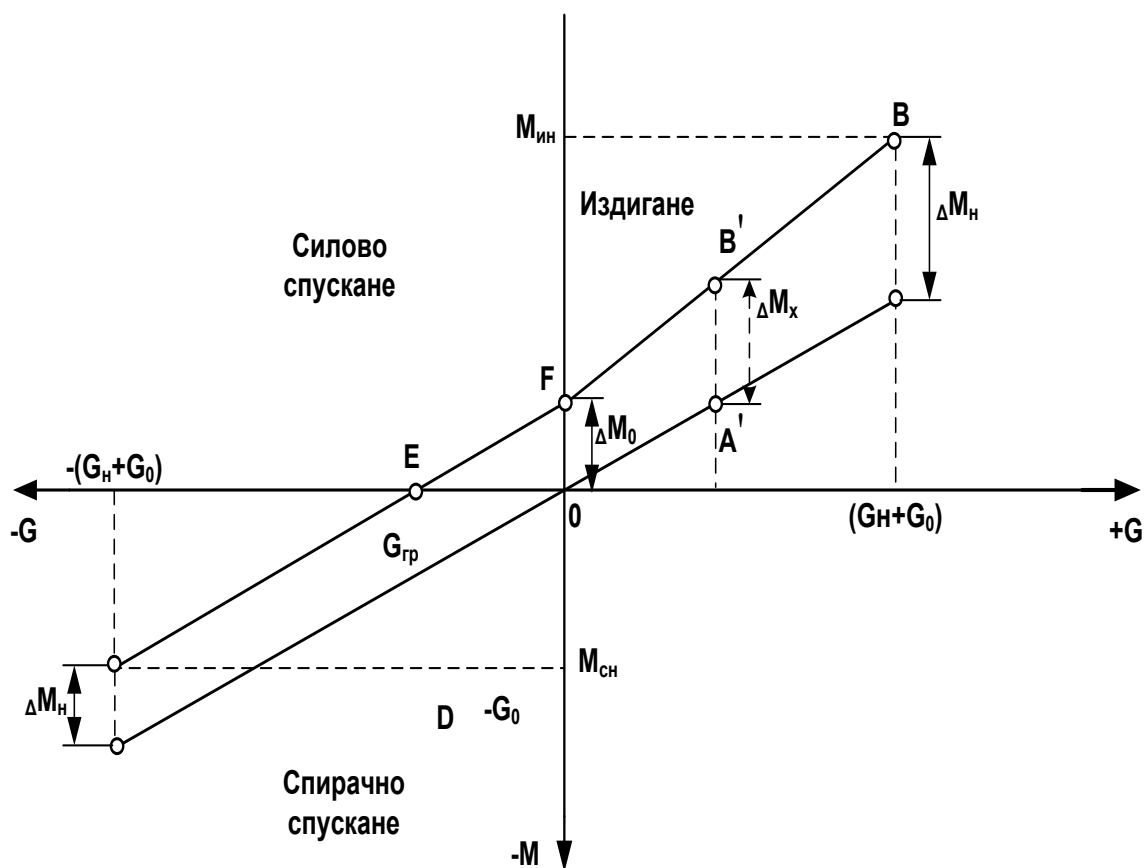
III. Определяне на режима на работа на електрическия двигател при различни по големина товари

За определяне на режима на работа на електрическите двигатели при различни по големина товари, особено при спускане, е удобно да се използва диаграма на момента в зависимост от товара на механизма – $M = f(G)$ – фиг. 12.1. По абсцисната ос се нанася товарът заедно с теглото на товарозахващащото приспособление, а по ординатата – моментът на вала на електрическия двигател. За положителни моменти са приети тези при двигателен, а за отрицателни – тези при спирачен режим на работа. Диаграмата се строи по следния начин. Изчисляват се двигателният и спирачният момент при товар $(G_n + G_0)$ и се построяват точките А и В, които се свързват с права линия. Правата АВ пресича ординатната и абсцисната ос в точките С и D. Вижда се, че дори при издигане на нулев товар е нужен момент, определен от точката С, за преодоляване на загубите в самия механизъм. Точката D определя граничния товар $G_{гр}$ при спускане – например при $|G_0| < |G_{гр}|$. Спускането ще е силово, а при $|G_0| > |G_{гр}|$ – спирачно.

Зависимостта, показана на фиг. 12.1 може да бъде построена по-точно. На фиг. 12.2 е дадено това построение. Точка А се получава от стойността на момента от номиналния товар $M_{тн}$, без да се отчитат загубите в механизма. Свързваме точка А с права през т. О и достигаем точка С, отговаряща на същия момент при спускане. По ордината от т. А добавяме момента ΔM_n , отговарящ на загубите в механизма за издигане на номиналния товар, и достигаем т. В, която отговаря на момента при издигане $M_{ин}$. За един междинен товар $(G + G_0)$ изчисляваме M_t и ΔM_x , като отчитаме η за $(G + G_0)$ и получаваме точките А', В', (А' вече е известна). Понеже загубите в механизма са пропорционални на товара, правата ВВ' достига до ординатната ос в т. F, на която съответства моментът на загубите ΔM_0 . За номиналния товар при спускане (т. С) изваждаме ΔM_n и достигаем т. D. Свързваме D с F. Точка Е (пресечна с абсцисната ос) дава граничния товар $G_{гр}$. С този товар могат да се сравняват всички други товари и да се преценява какво ще бъде спускането – силово или спирачно. Линията DFB е пречупена в т. F и е по-точна от зависимостта, показана на фиг. 12.1.



Фиг. 12.1. Диаграма на момента в зависимост от товара



Фиг. 12.2. Точна зависимост на момента от товара

Тема 13. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРОТЕЛФЕРИ

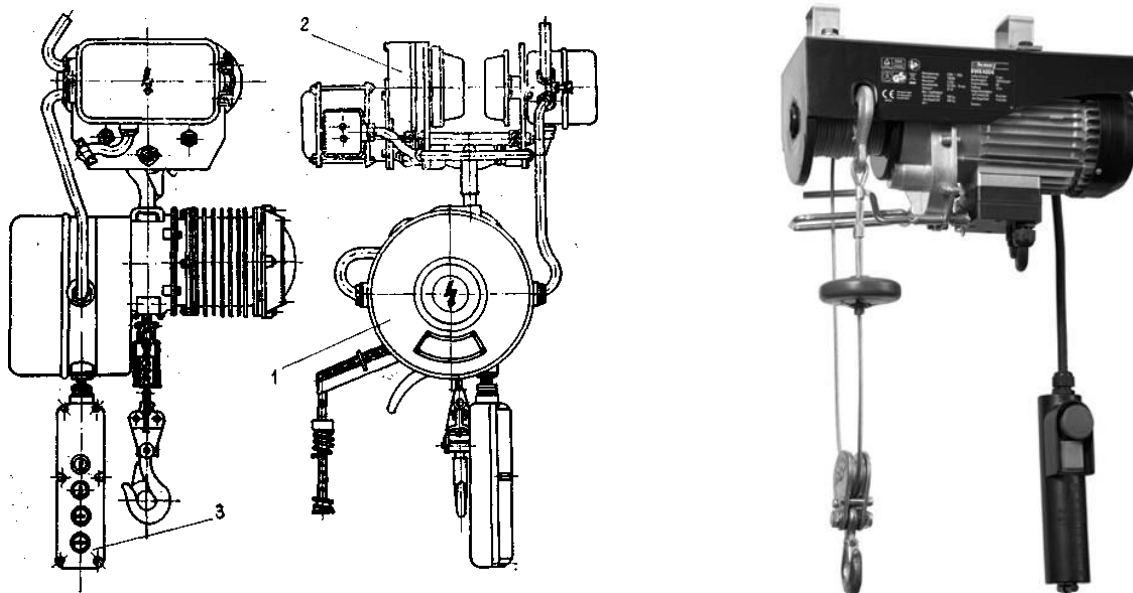
I. Общи сведения

Електротелферите представляват подемно-транспортни съоръжения, които намират широко приложение при механизацията на товаро-разтоварните работи. Те могат да работят самостоятелно или да бъдат включени в технологични линии за автоматизация на подемно-транспортните процеси. Удобни са за работа в закрити помещения, т.к. заемат малко място и не затрудняват движението на наземния транспорт, обикновено не изискват укрепване на носещите конструкции на сградата, лесно се управляват и поддават на автоматизация.

Освен в закрити помещения, те се използват и за работа на открито.

Управлението на електротелферите обикновено става от земята и много рядко от кабина. В последния случай те се наричат монорелсови колички. При всички произвеждани модификации подемният механизъм е с електрическо задвижване, а хоризонталното преместване може да бъде ръчно с верига, с избутване или електрическо. Произвеждат се и електротелфери без механизъм за преместване.

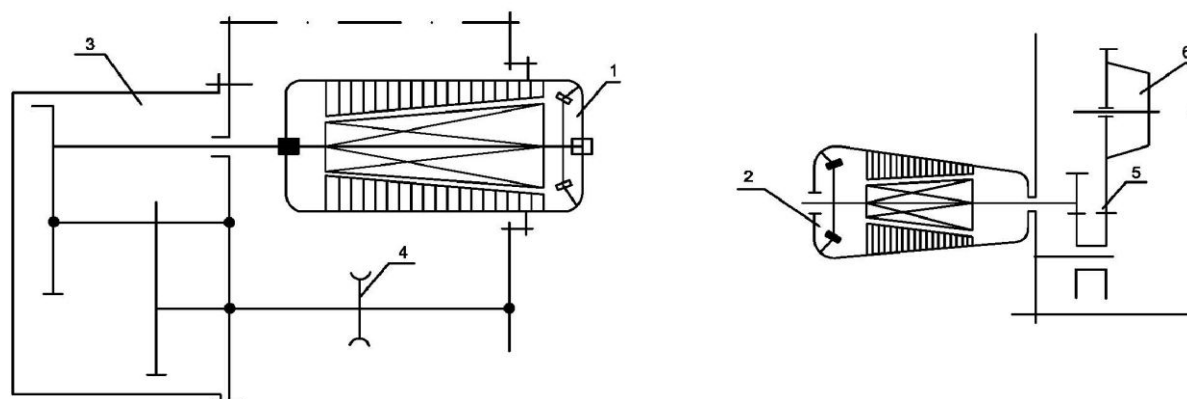
Конструкцията на електротелферите е изградена на принципа на блочно-съставната система, като в най-общия случай се състои от два конструктивно свързани механизма – механизъм за вдигане и спускане на товарите и механизъм за хоризонтално преместване. На фиг. 13.1 е показан общ вид на електротелфер, а на фиг. 13.2 – кинематичните схеми на механизмите за вертикално и хоризонтално преместване. В експлоатация се намират въжени и верижни електротелфери.



Фиг. 13.1. Общ вид на електротелфер

Механизмът за вертикално преместване се състои (фиг. 13.2) от електрически двигател (1), редуктор (3) и барабан (4), снабден обикновено с

метално въже или верига с кука. Механизмът за преместване може да бъде ръчен или електрически. В последния случай той се състои от електрически двигател (2), редуктор (5) и ходов механизъм (6). Товароподемността на електротелферите се движи в границите от 1,25 kN до 125 kN. Скоростта на вдигане на товара при телферите с голяма товароподемност не надвишава 0,15 m/s, а при тези с малка – $0,5 \div 0,8$ m/s. Обикновено електротелферите имат две скорости за вертикално преместване: нормална и ниска – $3 \div 4$ пъти по-малка от нормалната. Скоростта за хоризонтално движение, при управление от земята е $0,3 \div 0,5$ m/s, а при наличие на кабина – 2 m/s.



Фиг. 13.2. Кинематични схеми на механизмите за вертикално и хоризонтално преместване на електротелфер

II. Електрообзавеждане на електротелферите

Електротелферите обикновено се произвеждат за трифазно напрежение 400 V и 50 Hz. Произвеждат се и еднофазни електротелфери за напрежение 230 V. Захранването на електротелферите почти във всички случаи става с кабели. Може да се приложи и захранване с тролейни проводници. Електрическото задвижване на механизма за вертикално преместване се осъществява в много случаи от специална серия асинхронни електрически двигатели с конусен ротор, комбинирани с механична спирачка. Почти всички електрически двигатели имат две ъглови скорости в съотношение 4:1 до 7,5:1 с максимална мощност до 12,5 kW.

1. Електрически двигатели

ПТД се използват много рядко – само ако целият цех или помещение няма друго захранване. Най-често се използват АДНСР, а по изключение за подемен механизъм – с навит ротор.

В случай на електрически двигател с конусен ротор магнитното поле, което се образува при включването му към захранващо напрежение, се стреми да намали съпротивлението на въздушната междина, в резултат на което конусният ротор се премества аксиално навътре, преодолявайки действието на спирачната пружина. По този начин действието на спирачката се прекратява и едновременно с това електрическият двигател получава

захранване и се получава развъртане. За задвижване на механизма за преместване се използват както едноскоростни, така и двускоростни асинхронни електрически двигатели, по един или два броя. Те могат да бъдат в обикновено изпълнение или с конусен ротор.

Режимът на работа на телферните електрически двигатели е периодичен (S3) и много рядко за електрическите двигатели за преместване – непрекъснат (S1).

Управлението на електротелферите най-често става от бутонна кутия, окачена на гъвкав кабел, чрез която се подават импулси за включване на съответните контактори. В схемите за управление се използват блокировки на бутоните за управление на различните посоки на движение. За ограничаване на движението на куката в крайно горно и крайно долно положение в схемите за управление се използват крайни прекъсвачи. Сработването на краен прекъсвач за дадено направление не води до блокиране на движението в другото направление.

Изборът на електрическите двигатели за електротелфери става по подобен начин на избора на тези за крановете. Единственото различие е при определяне на съпротивителната сила при хоризонтално преместване F_c . Коефициентът k за участъците с праволинейно движение има стойности от 1,35 до 1,5, а при праволинейни – зависи от радиуса на кривата и състоянието на пътя. При радиус: $r = 3 \text{ m}$, $k = 2,5$ за сух и $k = 3,1$ за мокър път, а при радиус 5 m, съответно 1,8 и 2,1.

$$F_c = k \frac{G + G_0}{R_k} (\mu \cdot r + f), [\text{N}]$$

където:

- G – тегло на товара, [N];
- G_0 – собствено тегло на движещата се конструкция, [N];
- f – коефициент на триене при търкаляне между ходовото колело и релсата, приема се от 0,0003 до 0,0012;
- μ – коефициент на триене в лагерите; за плъзгащи лагери $\mu = 0,08 \div 0,15$, а за търкалящи $\mu = 0,01 \div 0,05$;
- k – коефициент, отчита триенето на ребордите на ходовите колела по релсата; при количка с търкалящи се лагери $k = 1,25 \div 1,6$, а с плъзгащи $k = 2,5 \div 3,2$.

III. Управление на електротелфери

На фиг. 13.3 е показана електрическа схема за управление на електротелфер с два механизма: подемен и за преместване на товара. Електрическият двигател на подемния механизъм е с конусен ротор, с две скорости и с вградена механична спирачка. За ограничаване на хода на подемния механизъм са предвидени крайни прекъсвачи КИ и КС. Посоката на въртене се определя от реверсивните контактори 1К и 2К – за електрическия двигател Д1 и 4К и 5К за електрическия двигател Д2, съответно. Във всяка от веригите на тези контактори са включени блок-контактите на съответния контактор за обратно движение. Честотата на

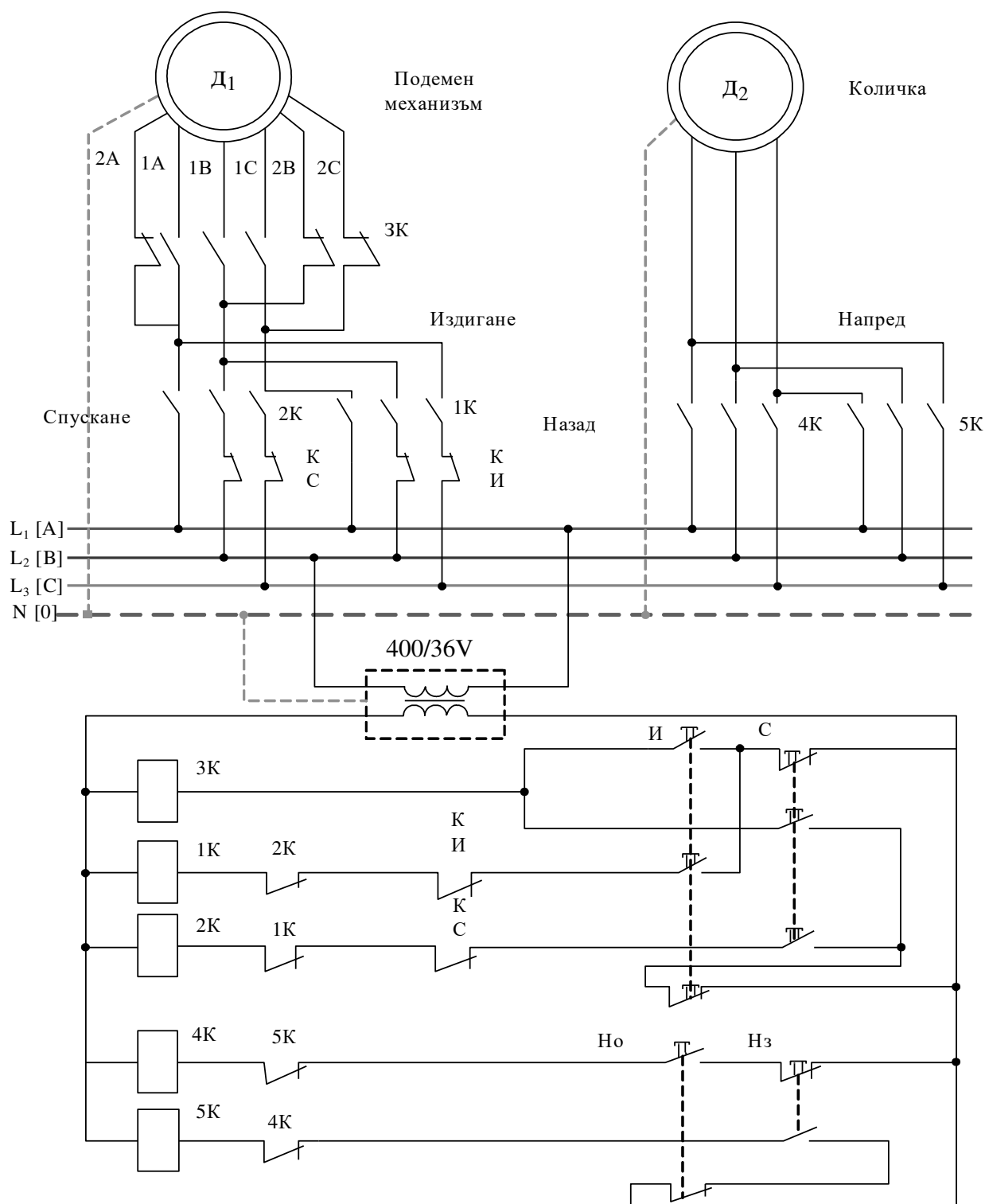
въртене на електрическия двигател на подемния механизъм се определя от контактора 3К.

Управлението на електрическите двигатели става с помощта на бутоните за издигане (И), за спускане (С), за движение "Напред" (Н_п) и "Назад" (Нз). При леко натискане на бутона за издигане И се затваря веригата на контактора 1К, който при затваряне на контактите си подава напрежение, през нормално затворените контакти на контактора 3К, на намотка за ниска скорост на електрическия двигател Д1. Едновременно с това става отваряне на нормално затворения контакт 1К във веригата на контактора за спускане 2К. При по-силно натискане на бутона И се затваря и веригата на контактора 3К. Той превключва статорните намотки и електрическият двигател преминава от ниската към високата (основната) скорост на въртене. Ако бутонът И се отпусне малко, електрическият двигател ще премине на ниска скорост, а когато се отпусне изцяло, той ще спре. Движение ще има, докато е натиснат съответният бутон. Спускането на товара става с бутон С и е аналогично на издигането. Управлението на механизма за хоризонтално преместване става с бутоните Нп и Нз. Те имат кръстосани контакти, за да се предотврати едновременното включване на двата контактора 4К и 5К, независимо от електрическата блокировка с нормално затворените контакти 4К и 5К.

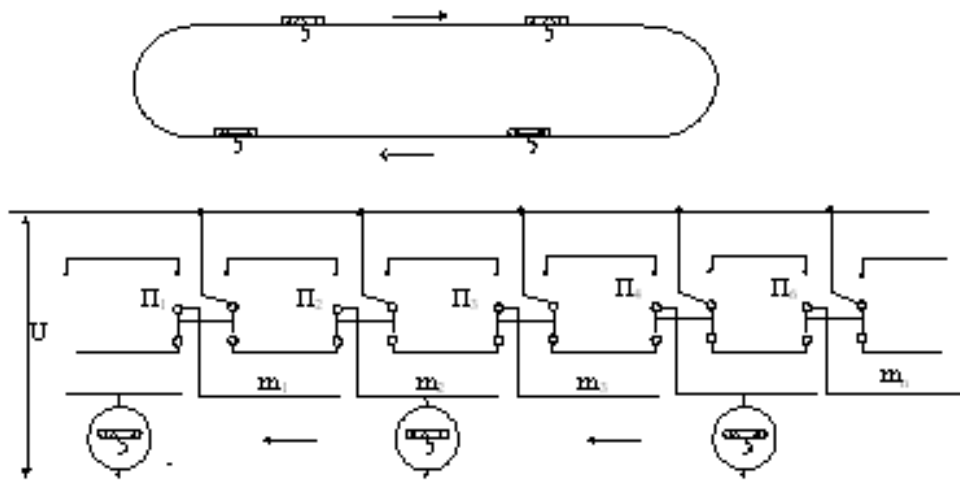
При използване на електротелфери за превозване на масови товари, когато те се движат по затворена траектория, се използват специални схеми за управление, (фиг. 13.4 и 13.5). На фиг. 13.4 е показан начинът за захранване на еднофазни електротелфери, но заложеният принцип може да се приложи и при трифазно захранване. Смисълът на показаната на фиг. 13.4 схема за захранване на електротелферите се заключава в предотвратяване на възможността от събирането на два и повече електротелфера на едно място. Единият от тролейните проводници се разделя на участъци (при трифазно захранване това се прави за две от фазите), които получават захранване чрез двуполусните прекъсвачи П. Последните имат две положения и се задействат от движещите се електротелфери. При преминаване на електротелфер покрай даден прекъсвач става преобръщане на последния от едно в друго положение, поради което всеки от електротелферите изключва от захранване участъка зад него.

Понякога се налага някои от съвместно работещите електротелфери да бъдат изведени от работната релса. За тази цел се използват стрелки, които са подобни на железопътните. Освен това, за предотвратяване падането на електротелферите от релсата, когато отклоняващата стрелка не е заела необходимото положение, се използват специални блокировки при захранване на тролейните участъци. На фиг. 13.5 е показана електрическата схема за управление на отклоняващото устройство. Преместването на стрелката става чрез бутоните БН и БО (фиг. 13.5-2)). При натискане на един от двата бутона се подава напрежение на един от контакторите Н или О, с което се включва електрическият двигател (не е

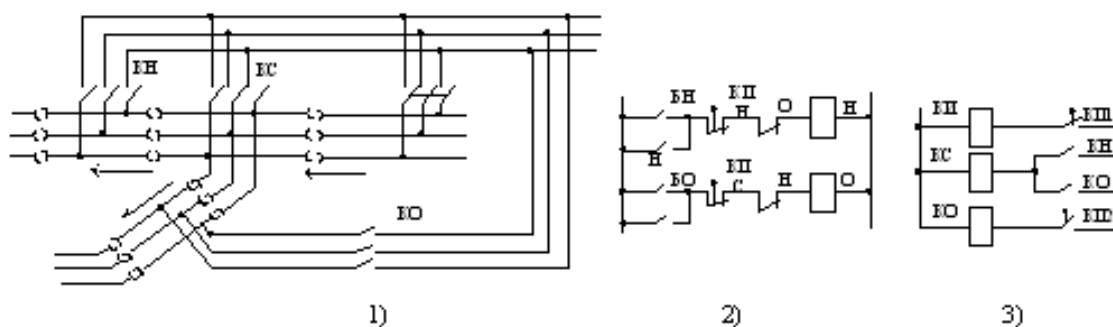
показан на схемата). Изключването на контакторите и спирането на електрическия двигател става от крайните прекъсвачи КПН и КПО, когато стрелката заеме съответното положение.



Фиг. 13.3. Електрическа схема за управление на електротелфер с два механизма: подемен и за преместване на товара



Фиг. 13.4. Схема за автоматизирано движение на електротелфери по затворена трактория



Фиг. 13.5. Електрическа схема за управление на отклоняващото устройство

Блокировката на тролейните участъци за предотвратяване на падането на телферите при движение на отклоняващата стрелка става с помощта на контакторите НК, КС и КО (фиг. 13.5-1) и фиг. 13.5-2)).

При нормална работа на крайния прекъсвач КП1 е затворен, на контакторите КН и КС е подадено захранване и съответните тролейни участъци са включени. Когато стрелката е отклонена за извеждане на електротелфер от релсата, крайният прекъсвач КП2, е затворен и захранване получават контакторите КС и КО, които изключват едноименните им участъци от тролейните проводници. При движение на стрелката, когато тя е заела едно от двете крайни положения, крайните прекъсвачи КП1 и КП2 са отворени и участъците КС, НК, и КО са изключени и движението на електротелферите, намиращи се на тези участъци, е преустановено.

Тема 14. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ, КЛАСИФИКАЦИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ И КОНСТРУКТИВНИ ОСОБЕНОСТИ НА АСАНСЬОРИТЕ

I. Общи сведения

Асансьорите са стационарни подедни уредби с периодично действие, предназначени за повдигане или спускане на хора или товари в кабина или платформа, движеща се между две или няколко постоянни спирки в специално изградена шахта по неподвижни направляващи от профилно желязо.

Асансьорите ни спестяват безкрайното и уморително изкачване на стълби във високите сгради. Те са били използвани още преди 2600 години, но разбира се, доста са се различавали от съвременните. За първи път се смята, че скрипки са били използвани при строителството на египетските пирамиди. Тогавашните подедни устройства са могли да вдигат каменните блокове с височина около 150 m и тежки около 90 kg.

Известно е, че създателят на първия асансьор е Архимед от Пергам през 236 г. преди новата ера. Древногръцкият математик Архимед се занимавал с разработката на подедни механизъм. Той направил свой модел за усъвършенстването на скрипките. В Средновековието асансьорите се използвали за превоз на хора и товари до високите етажи на сградите, но тогава механизмът работел благодарение на силата на животните.

Смята се, че първият асансьор бил направен през 1743 г. в двореца на френския крал Луи XV във Версай. Целта била да се спести движението на 33-годишния крал, когато се налагало да отиде до апартамента на любимата си, намиращ се на най-високия етаж на двореца.

През 1800 г. американец, собственик на мина за добив на каменни въглища, разработил първия парен асансьор. През 1835 г. този парен механизъм започва да се употребява в мините в Англия, а по-късно придобива популярност и в Америка.

Илайша Грейвс Отис обаче се смята за бащата на съвременния асансьор. През 1853 г. той представя изобретението си на изложение в Кристъл палас, Ню Йорк. Стотици хора гледат как Отис се изкачва нависоко с новия си асансьор. Внезапно публиката замира, след като той казва на своя помощник да среже въжето на скрипеца. Въжето пада, но платформата продължава да стои високо във въздуха. Изобретението на Илайша Отис е много по-важно от обикновения асансьор, основан на принципа на скрипеца. Това, което той успява да разработи, е своеобразна спирачка за елеваторите, която превръща скрипеца в модерния и познат ни днес асансьор. Изобретението всъщност представлява предпазна релса със зъбни колела, която се слага в четирите страни на платформата в шахтата. Тя на практика държи платформата. Ако въжето се скъса, зъбните колела заработват и задържат платформата на мястото ѝ. Публиката, присъствала на демонстрацията, остава поразена. Производителите веднага проявяват интерес към изобретението на Отис и поръчките заваляват една след друга. Той патентова изобретението си през 1861 г. и то фигурира под #31128 в патентите на САЩ. Създавайки т.нар. безопасен асансьор, Илайша Отис едва ли е

могъл да знае до каква революция ще доведе изобретението му. Защото високите сгради и небостъргачите на съвременността едва ли можеха да бъдат изградени без неговата спирачка за асансьори.

През 1846 г. сър Уилям Армстронг представя хидравличния товароподъемен кран, а в началото на 70-те години на XIX век този вид машини постепенно започва да измества останалите елеватори, които се задвижват от силата на парата. Хидравличният асансьор е поддържан от голямо бутало, движещо се в цилиндър и задействано чрез налягането на водата или петрола, получавано от помпи.

Хидравличният асансьор бил направен във Франция и за първи път е показан на Международна изложба в Париж през 1867 г. По-късно той бил вграден и в Айфеловата кула.

През 1859 г. компанията "Отис" поставила спирален асансьор в хотел на "Пето авеню". От партера до таванските помещения на сградата бил поставен огромен метален винт, а кабината се движела по него. Системата се оказала ефективна, но пък била прекалено скъпа и затова били направени само два подобни асансьора.

Първият електрически пътнически асансьор бил направен от немската компания "Сименс" през 1888 г. Само за 11 s той се издигал на 22 m. Първият електрически елеватор на "Отис" пък е монтиран в небостъргач в Ню Йорк през 1889 г.

Любопитна информация е известна понастоящем за Сингапур – града-държава. Сингапур има прозвище Fine City (игра на думи – на английски това значи Прекрасен град, но има и значение като Град на глобите). Второто е доста вярно и характеризира политиката на града. Там списъкът със забрани е толкова дълъг, че това до голяма степен обяснява защо престъпността е практически нулева. Например, там има солени глоби за уриниране в асансьори. Защото дори и там е имало подобни хулигански практики във високите сгради. Властите са решили проблема, като са монтирали детектори за урина в асансьорите. Когато те се задействат, вратите автоматично се заключват, сигналът веднага достига до полицията и прегрешилият трябва да плати 500 SGD – сингапурски долара (около 720 лв.).

II. Класификации на асансьорни уредби

Основната класификация се прави в зависимост от предназначението им.

1. *Пътнически асансьори*

Обслужват хора, затова изискванията за безотказно и безопасно действие към тях са повишени. Инсталират се в жилищни и административни сгради, хотели, ресторанти, магазини, метро и др. Пренасят пътници с багажите им.

2. *Товарни асансьори с придружител*

Пренасят товари, съпроводжани от специално лице. Намират широко приложение в промишлените предприятия, складове, магазини и др. Шах-

тата може да бъде вътре в сградата или вън до сградата. Поради това, че управлението се извършва от придружител, изискванията са такива, както при пътнически асансьори.

3. Болнични асансьори

Предназначени са за болнични заведения и превозват едновременно болен на количка или носилка и до четири съпровождащи лица, без да се смята постоянният придружител. Кабините се правят удобни за поместване на хора в количката или на носилка. Изисква се плавно тръгване и спиране, спокоен ход и точно спиране.

4. Товарни асансьори без придружител.

Използват се само за пренасяне на товари. Управляват се от етажните площадки. Пътуването на хора в кабините е забранено. Към тази група се отнасят и някои специални асансьори, например за товари в книгохранилища, кухни, гаражни асансьори и др.

Класификация на асансьорните уредби по скорост на движение

У нас по този показател те се разделят в три категории:

1. бавноходни – скорост до 0.75 m/s;
2. бързоходни – от 0.75 до 1.5 m/s;
3. високоскоростни – над 1.5 m/s.

В света има асансьори, достигащи скорост 7 m/s.

Най-бързият асансьор за небостъргач е произведен от фирмата HITACHI. Той се движи със скорост 810 m/min и обслужва сгради с над 500 m височина. Най-бърз в света в момента е асансьорът в една мина в ЮАР – 1096 m/min. При сградите "Хитачи" подобрява постижението на асансьора в 240-метровата "Съншайн билдинг" в Токио от 600 m/min, вписан в Книгата за рекордите на Гинес.

Друг бърз асансьор в света, е създаден от японската фирма MITSUBISHI ELECTRIC, с което подобри собствения си рекорд за скорост на вертикалния пътнически превоз. Той изминава 750 m за минута, със 150 m повече от асансьорите в 60-етажната "Съншайн бидинг" в Токио. 80 броя от новия рекордьор са монтирани в 70-етажна сграда в Йокохама, която е висока 296 m.

Високоскоростни асансьори също така са инсталирани в най-високата сграда в света – тайванската кула "Тайпе 101", която се извисява на 508 m над земята. С елеваторите само за 35 s може да се стигне до върха на небостъргача. Асансьорите развиват максимална скорост 1014 m/min. Асансьорите са записани в Книгата на рекордите на Гинес като най-бързите в света. Освен това те имат и специална защита срещу земетресения, тъй като Тайван се намира в земетръсен район. Най-високата сграда в света, наречена финансов център на Тайпе, беше официално открита в края на 2004 г. Сградата има 101 етажа и заради това е известна и като "Тайпе 101". Небо-

стъргачът е с 50 m по-висок от предишния рекордьор – Кулите Петронас в Куала Лумпур, Малайзия.

III. Показатели на асансьорните уредби

Основните показатели на асансьорите са: товароподемност, скорост на движение, производителност и точност на спиране.

1. Номинална товароподемност

Това е най-голямото тегло на пътниците или товарите, които се допуска да бъдат пренасяни с кабината. Измерва се в N или kN. В товароподемността не влизат теглата на самата кабина и всички съоръжения и механизми, постоянно разположени в нея. При пътнически асансьори товароподемността понякога се отбелязва с допустимия брой пътници, като е прието у нас средно тегло на пътник 800 N.

За товарни асансьори товароподемността достига 50 kN, а за болнични – 5 kN.

2. Номинална скорост на движение

Това е линейната скорост на кабината в m/s при номинално натоварване на асансьора и се нарича номинална.

Големите скорости обуславят големи ускорения. Човешкият организъм възприема болезнено ускорения и забавяния с големина над 2 m/s^2 (виене на свят, повръщане, затрудняване на дишането и болки). Всъщност и ускорения с големина до 3 m/s^2 могат да се понасят, ако се достигне 2 m/s^2 и после плавно се изменя до по-голяма стойност (до 3 m/s^2). Изменението на ускорението във времето (първата производна на ускорението спрямо времето) се нарича "дърпане". Установено е, че до дърпане 5 m/s^3 човешкият организъм не реагира, до 10 m/s^3 – понася, но при по-големи стойности е чувствителен и не може да понася изменение с такава бързина.

У нас се допускат следните ускорения: при номинална скорост до 1 m/s максималното ускорение (забавяне) не трябва да бъде повече от 1.5 m/s^2 ; при номинална скорост над 1 m/s – не повече от 2 m/s^2 (не се отнася за аварийно спиране с уловители).

3. Производителност

Измерва се с превозените товари или брой пътници за единица време в едно направление. Големото разнообразие от номинални товароподемности и номинални скорости дава възможност за различни съчетания между тях и получаване желана производителност. Например за пътнически асансьор производителността Π може да се определи, ако знаем товароподемността E (например в брой пътници), номиналната скорост v и времето за един цикъл на работа $t_{\text{ц}}$ (издигане и спускане на кабината). Ако за един цикъл има n вероятни спирки по етажите и на всички спирки асансьорът се задържа за време t_o за излизане и влизане на пътниците, а времето за пускане и спиране е съответно t_n и $t_{\text{см}}$, то времето, през което асансьорът ще се движи между етажите с постоянна установена скорост t_y , ще бъде:

$$t_{\text{ц}} = \frac{2H - \frac{v}{2}n(t_n + t_{\text{сп}})}{v} = \frac{2H}{v} - \frac{n}{2}(t_n + t_{\text{сп}})$$

където: H е дължината на целия път за издигане, m.

Продължителността на цикъла в секунди ще бъде:

$$t_{\text{ц}} = t_y + n(t_n + t_{\text{сп}}) + t_o = \frac{2H}{v} + \frac{n}{2}(t_n + t_{\text{сп}}) + t_o$$

Производителността в пътници за час ще бъде:

$$\Pi = \frac{3600\gamma E}{t_{\text{ц}}} = \frac{3600\gamma E}{\frac{2H}{v} + \frac{n}{2}(t_n + t_{\text{сп}}) + t_o}$$

където: γ е коефициент на натоварване, (0,7 ÷ 0,8).

4. Точност на спиране

Този показател е свързан с производителността. Неточното спиране увеличава времето на паузите за слизване и качване на пътници, за товарене и разтоварване. Изискванията за точно спиране се удовлетворяват най-добре с подходящ избор на системата на електрозадвижването, като колкото са по-високи изискванията, толкова по-сложно и скъпо е електрообзавеждането.

IV. Конструктивни особености

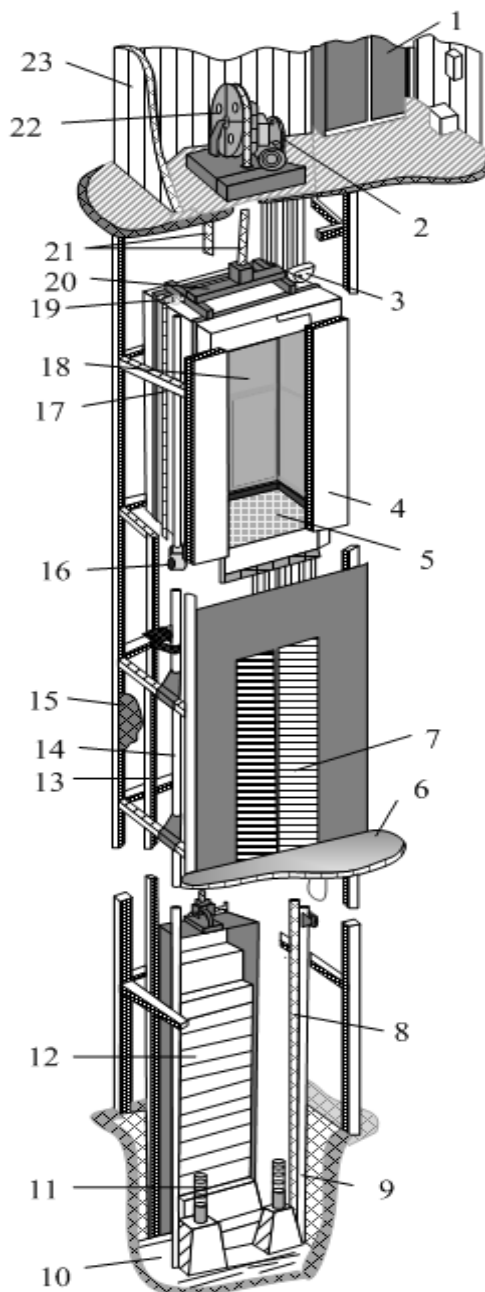
На фиг. 14.1 е дадена схема на пътнически асансьор. Основна част на механообзавеждането на асансьора е подемният механизъм 22, който с помощта на въжетата 21 и окачването им 20 движи кабината 18 по различните етажи. При спирането трябва подът на кабината 5 да бъде на едно ниво с пода 6 на етажната площадка.

За уравновесяване на кабината и част от товара е предвидена противотежестта 12. Кабината, противотежестта и другите подвижни части се движат в специална шахта 15, която е главно съоръжение на строителната част на асансьора. От шахтата към етажните площадки има врати 7. Вътре в шахтата по цялата ѝ височина са закрепени направляващите 14 (профилни желяза) за кабината и направляващите 13 за противотежестта. В горната и долната част на кабината и противотежестта има специални „обувки“ 16, които фиксират точно положението им спрямо направляващите.

При аварийни случаи, когато скоростта на кабината по различни причини надвиши гранично позволената или при скъсване или отслабване на въжетата за вдигане, задействат т. нар. уловители 19. Те захващат здраво кабината за направляващите и я задържат неподвижно. Задействането на уловителите при превишаване на скоростта на кабината се осигурява от ограничителя на скоростта 2 с въжето 8 и устройството му за натягане 9.

Положението на кабината в шахтата се контролира от устройство 17, закрепено към кабината и въздействащо на етажните превключватели. Самата кабина в случая има собствени врати 4, които могат да се отварят ръчно или от специален механизъм 3.

Долната част на шахтата 10 се нарича приемна яма. В нея се намират буфери (амортизъри) 11. Подемният механизъм е разположен в машинното помещение 23, в което още се намират таблото за управление 1, ограничителят за скоростта, крайни изключватели и др. Машинното помещение се разполага в най-горната част на шахтата, но при други конструкции може да се разположи още в средата или в най-долната ѝ част.



Фиг. 14.1. Схема на пътнически асансьор

По особеностите на механообзавеждането на подемния механизъм асансьорите се делят на следните групи:

1. Асансьори с подемен механизъм барабанен тип

Въжетата за кабината и противотежестта (ако има такава) се навиват или развиват на барабана и са твърдо закрепени за него. Този тип подемни

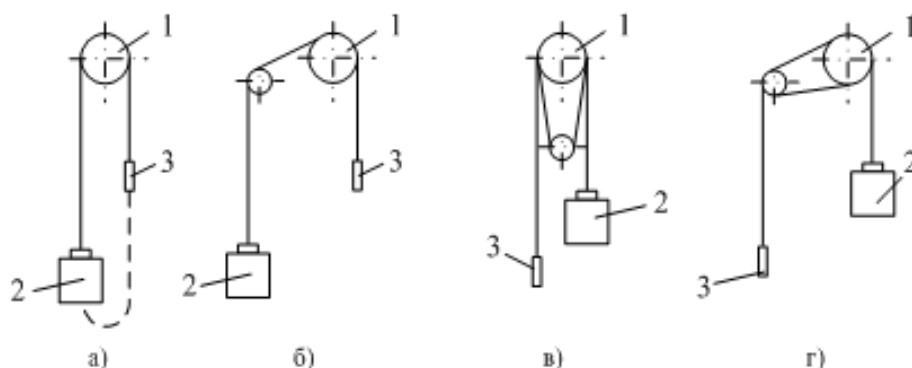
механизми са подобни на крановите, но при асансьорите имат много недостатъци и затова се използват рядко и особено рядко за пътнически асансьори (за малки височини на издигане – до няколко етажа).

2. Асансьори с подемен механизъм безбарабанен тип

Вместо барабан се използват въжеводещи колела, при които въжетата са навити на няколко навивки, но не са твърдо закрепени. Тяговата сила се създава от силите на триенето между въжетата и работните повърхности на въжеводещото колело. Предаването на движението от електрическия двигател до въжеводещото колело може да стане по два начина. При първия начин се използва междинен редуктор и високоскоростен обикновен електрически двигател. Редукторът създава шум, който обикновено се предава на сградата. Механообзавеждането се осъществява, докато електрообзавеждането е по-евтино.

При втория начин не се използва междинен редуктор, а електрическият двигател работи на един вал с въжеводещото колело. Този начин изисква нискоскоростни (бавноходни – с честота на въртене до 100 min^{-1}) специални електрически двигатели. Работата е безшумна. Електрообзавеждането се осъществява, а механообзавеждането поевтинява.

Едни от най-често използваните кинематични схеми на подемен механизъм с въжеводещо колело са показани на фиг. 14.2. Въжеводещото колело е означено с 1, кабината с 2, противотежестта с 3, а с 4 – направляващото колело. Схемата на фиг. 14.2-а) се прилага често, но диаметърът на въжеводещото колело трябва да бъде по-голям от половината широчина на кабината. Когато кабината е по-широка, със спомагателното направляващо колело 4 (фиг. 14.2-б)) противотежестта може да бъде отдалечена, но се явява възможност за приплъзване на въжето поради по-малкия ъгъл на обхват на въжеводещото колело. За да се отстрани тази възможност, при голям диаметър на въжеводещото колело се използва схемата на фиг. 14.2-в), а при малък – фиг. 14.2-г).

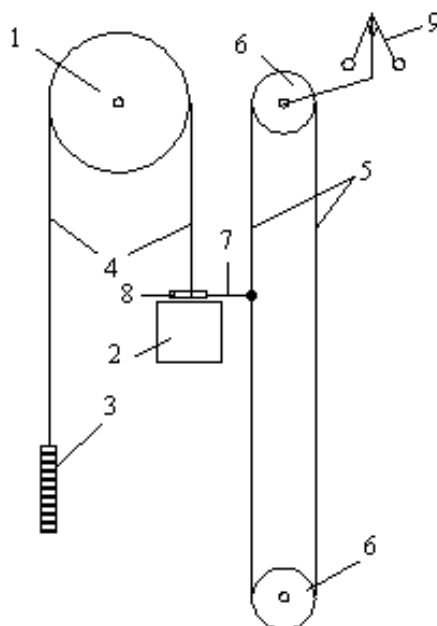


Фиг. 14.2. Кинематични схеми на подемен механизъм с въжеводещо колело

Кинематичната схема на един тип уловител на кабината за превишена допустима скорост е дадена на фиг. 14.3.

Въжеводещото колело 1 с въжетата свързва кабината 2 и противотежестта 3. Паралелно на носещите въжета 4 се движи спомагателно въже 5,

опънато на горна и долна ролка 6. Въжето 5 със специално въже 7 е захванато с уловителя 8, намиращ се на покрива на кабината. Въжето 5 се движи от кабината нагоре или надолу с нейната скорост. На горната ролка 6 има специално устройство 9, наречено ограничител на скоростта. Този ограничител задейства при надминаване на допустимата скорост, като блокира движението на ролката 6 и въжето 5. Едновременно с това ограничителят чрез електрически контакти въздейства и върху електрическата схема за управление.



Фиг. 14.3. Кинематична схема на един тип уловител на кабината за превишена допустима скорост

Двигателните технологии и методите за управление се развиват бързо и през 1889 г. се появява електрически асансьор, подходящ за обслужване и на по-високи сгради. По-късно с развитието на техниката многоскоростните двигатели изместват еднокоростните и позволяват по-голяма оперативност и условия за придвижване. Електромагнитните технологии заместват ръчното управление и спиране. Бутонното управление и различните сложни сигнални системи спомагат за още по-нататъшната модернизация на асансьорите. Въвеждат се и различни системи за сигурност.

IV. Управление на асансьорни уредби

Асансьорът представлява сравнително сложно комплексно съоръжение. В часове с върхово натоварване работи в тежък режим с чести включения и изключения. В повечето случаи се управлява (ползва) от неквалифициран персонал, което налага да се предвиди още на стадия на проектиране висока степен на автоматизация, така че да се осигурява максимална безопасност за пътуващите, простота и общодостъпност при управлението. Налага се и ограничение на ускорението при движение с пътници в кабината, с оглед човешкият организъм да не го възприема

болезнено. Електрообзавеждането му се състои от електрически двигател и електрически апарати. То трябва да работи безотказно и безшумно, да осигурява точно спиране и да не създава недопустими смущения – радиочестотни и такива в захранващата мрежа.

При избора на начина и схема за управление се изхожда от две основни изисквания: максимална простота на управлението и максимална надеждност и безопасност. Осигуряването на тези изисквания се осъществява чрез въвеждането на различни електрически блокировки и електромеханични устройства.

Начинът на управление на електрозадвижването се избира в зависимост от типа на асансьора, неговата конструкция, предназначението му и предявяваните към него технологични изисквания. При пътнически и някои товарни асансьори се използва автоматично управление. То може да бъде нормално или събирателно. При нормално управление се изпълнява само една заявка – първата приета. Едва след нейното изпълнение се приема друга заявка. При събирателно управление се приемат всички заявки, като се изпълняват най-напред в едната посока на движение, а след това – в обратната. Редът на изпълнение на заявките не съответства на последователността на приемането им, а на последователността на заявените спирки по посока на движението.

Видове системи за управление

Системата за управление на асансьора представлява комплекс от електрически апарати, които със или без намесата на пътника определят поведението на асансьора при различните ситуации, възникнали по време на експлоатацията му. Системата за управление може да се раздели на две основни части, в зависимост от функционалното им предназначение и от мястото на монтаж: външна (периферна) част, която обхваща цялата апаратура извън командното табло, и вътрешна част, т.е. апаратурата, разположена в командното табло.

Периферната част на системата за управление също може да се раздели на две: апаратура, която се намира в пряк контакт с пътниците, и такава, която контролира състоянието на отделните възли от асансьора и остава невидима и независима от пътниците. Към първата могат да се причислят етажните и кабинните бутониери и таблата за светлинна и звукова сигнализация, а към втората – различните датчици, контактите за безопасност, спирачните електромагнити, електромагнитната отбивачка, електрическите двигатели и др.

Апаратурата в командното табло също се разделя на две: силова част и оперативна част. Силовата част обхваща контакторите, спирачните резистори, понижаващите трансформатори, изправителите и др., а оперативната – всички релета и принадлежащите им времезакъснителни групи и дъгогасителни устройства. Оперативната част може да бъде изпълнена и с безконтактни електронни елементи.

Системата за управление се избира в зависимост от типа на асансьора, неговата конструкция, предназначението му и предявяваните към него технологични изисквания.

В типовите конструкции асансьори за масово използване се прилагат като правило бутонни системи за управление. Бутонните системи за управление биват с външно, с вътрешно и със смесено управление.

Системите с външно управление се използват при малки товарни (кухненски) асансьори, платформени асансьори и някои товарни асансьори, участващи в даден производствен технологичен цикъл. При тези системи управлението на асансьора се осъществява от бутониери, монтирани на една или на всички етажни площадки, а в кабината бутониери не се поставят. С помощта на бутоньерата, разположена на съответния етаж, кабината на асансьора може да се повика на този етаж или да се отпрати на който и да е от другите етажи. При тази система на управление понякога освен командните бутониери се предвижда светлинна и звукова сигнализация, показваща че асансьорът е зает и известяваща пристигането му на съответния етаж.

Системите с вътрешно бутонно управление се прилагат сравнително рядко при пътническите, болничните и товарните асансьори, предназначени за работа с придружител. Управлението на асансьора в този случай се осъществява от командна бутонiera, разположена в кабината. На етажните площадки, обслужвани от асансьора, се монтират сигнални апарати, известяващи придружителя в кабината чрез звуков и светлинен сигнал, че на даден етаж има пътник, желаещ да ползва асансьора. Асансьорите с такава система на управление имат ниска производителност, поради което системата намира ограничено приложение и почти не се използва.

Системите със смесено управление са най-разпространени в съвременното асансьоростроене и се прилагат при всички пътнически, товаро-пътнически, болнични и товарни асансьори. При тези системи управлението е предоставено на всички пътници чрез кабинната бутонiera и чрез етажните бутониери, разположени на всички етажни площадки, обслужвани от асансьора. Участието на пътниците в управлението на асансьора се свежда само до регистриране на заявка за желания етаж чрез натискане на съответния бутон, след което системата сама извършва всички останали действия до спиране на кабината на този етаж. Поради това понякога бутонните системи за управление се наричат автоматични.

В зависимост от вида на сградата, която се обслужва от даден асансьор (или асансьори), системите със смесено управление биват няколко основни типа.

Нормално управление

Това управление е сравнително най-просто и с малки функционални способности. При него се запомня само една команда – кабинна или етажна заявка, и докато тази команда не се изпълни, друга заявка не се

приема. Затова тази система на управление се прилага при ниски жилищни сгради (до 9 етажа) с по 2-3 апартамента на етаж, както и при товарните и болничните асансьори.

При тази система на етажните площадки са разположени бутониери с един бутон и със сигнал „заето”, като сигналът „заето” може да е обединен с бутона или обособен отделно. При подаване на първото етажно повикване (ако асансьорът не е бил зает) то се регистрира в командното табло, асансьорът потегля и не приема повече никакви други етажни или кабинни заявки. След спиране на съответния етаж се включва известна задръжка от време (около 3 s), през което все още не се приемат никакви кабинни или етажни заявки. Това време е необходимо, за да позволи на пътника да отвори вратата на асансьора, преди да са го повикали от друг етаж. След като влезе в кабината, пътникът има предимство пред пътник, чакащ на някой друг етаж. При по-старите конструкции това предимство се осъществява с помощта на подвижен контакт на пода на кабината, регистриращ наличието на товар в нея с маса, по-голяма от 15 kg. При по-новите конструкции това става чрез времезадръжка в системата за управление, която включва захранването на етажните бутониери със закъснение 3 s след затварянето на вратата. През това време пътникът в кабината може да подаде заявка за желанния етаж.

Кабинната бутониера е снабдена с по един бутон за всеки етаж (допуска се тези бутони да са без светлинна индикация за приета заявка), бутон „стоп” и бутон „аларма”. Бутонът „стоп” служи за аварийно спиране на кабината, независимо от местоположението ѝ в шахтата. След задействане на бутона „стоп” кабинната заявка се изтрива и следващото движение на асансьора е възможно само след подаване на нова кабинна заявка или след отваряне и следващо затваряне на шахтната врата, ако асансьорът е спрял в зоната на допустимото отваряне на вратата. С бутона „аларма” пътникът в кабината може да сигнализира за някаква аварийна ситуация.

От описания по-горе принцип на действие на нормално управление е очевидно, че при болничните и товарните асансьори тази система е необходима и единствено приложима. При пътническите асансьори тя обуславя намалена производителност на асансьора и е целесъобразна само за жилищни сгради с ниска интензивност на потока от пътници изразени върхове без ясно изразени върхови моменти, т.е. когато намалената производителност е оправдана от по-лесната експлоатация и поддръжка на тези асансьори.

Събирателно управление надолу

Това е една по-сложна система с по-богати логически възможности от нормалното управление. При нея асансьорът приема и съхранява в своята памет всички етажни повиквания, независимо от реда, в който са подавани. При движението си нагоре кабината спира на етажите, отговарящи на подадени от нея заявки, но подминава етажите, на които има регистрирани

етажни повиквания, докато достигне до най-горния етаж, от който има повикване. След това се отправя надолу и спира на всички етажи с регистрирани етажни повиквания, при което събира чакащите по етажите пътници и ги превозва надолу, най-често до основната спирка.

Кабинните заявки при тази система също се запомнят, независимо от реда на подаването им, но се изпълняват попътно, независимо от посоката на движение на кабината. При това, след като системата за управление е избрала дадена посока на движение на кабината, тя не я променя, докато не бъде изпълнена и последната команда за тази посока.

При тази система етажните бутониери са с по един бутон със светлинна сигнализация за приета заявка, а кабинните – с бутон за всеки етаж, бутон „стоп” и бутон „аларма”. И тук бутонът „стоп” действа по начин, описан по-горе при *нормално управление*, като при задействането му се изтриват всички регистрирани кабинни заявки, но етажните заявки и избраната посока на движение се съхраняват в паметта на системата.

Кабината на тези асансьори може да бъде снабдена с устройство за контрол на товара, което измерва общото тегло на пътниците в кабината. Това устройство най-често регистрира две състояния на товара в кабината: „пълнен товар”, при което асансьорът не спира при етажни повиквания (т.к. би последвало претоварване), и „претоварване”, при което асансьорът не потегля, докато товарът не намалее. При това, когато е регистриран „пълнен товар”, системата за управление съхранява в паметта си етажните повиквания от етажите, които кабината е подминавала и при следващото движение надолу тези етажи се обслужват от асансьора.

От казаното дотук става ясно, че тази система е подходяща за сгради с движение предимно от всички етажи надолу към първия и от първия етаж нагоре. Такива са жилищните сгради и хотелите, при които пътникът, чакащ на някой от горните етажи, най-често желае да пътува надолу до първия етаж. Изключение правят хотелите, в които на най-горния етаж има заведение (ресторант, сладкарница) и при тях системата събирателно управление надолу не е подходяща и не се прилага.

Двупосочно събирателно управление

Тази система е най-ефективната система за управление на единични асансьори. При нея асансьорът има на всеки етаж повиквателна бутониера с два бутона – „нагоре” и „надолу”. Това позволява системата за управление да отчете посоката, в която желае да пътува пътникът, чакащ асансьора на някой междинен етаж. Системата за управление регистрира и съхранява в паметта си всички етажни повиквания и кабинни заявки. При движение нагоре асансьорът обслужва всички етажи с натиснат бутон „нагоре”, а също и всички попътни етажи, за които има натиснат бутон в кабината. След като достигне до най-горния етаж с регистрирана кабинна заявка или етажно повикване, кабината се отправя надолу, като при това обслужва етажите с натиснат бутон „надолу” и всички попътни етажи, за които има натиснат бутон в кабината.

И при тази система е валидно казаното при *събирателно управление надолу* за действието на устройството за контрол на товара, регистриращ двете състояния – „пълнен товар” и „претоварване”. Но освен това тези асансьори са снабдени със светлинна сигнализация на всеки етаж, която показва в каква посока ще продължи да се движи кабината, след като спре на даден етаж. Това са най-често стрелки в две посоки – нагоре и надолу, като при приближаване на асансьора към етаж, на който ще спре, светва съответната стрелка, показваща следващата посока на движение на кабината. Тези светлинни табла се наричат табла за посока на движението и най-често са комбинирани със звуков сигнал, предупреждаващ за пристигането на асансьора.

Групово събирателно управление надолу

Ако за транспортирането на потока от пътници в една жилищна сграда се налага инсталирането на повече от един асансьор, най-ефективно и икономично обслужване се получава при обединяването на тези асансьори в обща система за управление. Това се обяснява с факта, че общата система за управление винаги изпраща намиращия се в най-изгодно положение асансьор да обслужи етаж с повикване, с което се намаляват многократно ненужните пътувания на кабините и времето за чакане на пътниците по етажите.

Групата асансьори с общо събирателно управление надолу има на всеки етаж една обща бутониера с един бутон. Системата за управление регистрира и съхранява в паметта си всички подадени етажни повиквания и кабинни заявки. При пътуването си нагоре кабините спират на всички етажи, за които има натиснат бутон в кабината, но подминават етажите с регистрирани етажни повиквания. При движение надолу кабините спират на всеки етаж, за който има заявка от кабината или от етажна площадка.

При това логиката на системата е изградена по такъв начин, че поведението на асансьорите да се нагажда гъвкаво към различните ситуации, създали се по време на експлоатацията им.

Алгоритъмът на управлението на група от два асансьора със събирателно управление надолу е пояснен по-долу.

Когато в паметта на системата няма регистрирано нито едно етажно повикване или кабинна заявка, единият асансьор се отправя автоматично към партерния етаж и остава там да дежури (нарича се дежурен), а вторият остава на етажа, на който е бил, след като е изпълнил последната команда (нарича се избран). При постъпване на единични етажни повиквания етажите се обслужват от избрания асансьор. Дежурният асансьор в този случай не потегля от партерния етаж. Когато пристигне пътник на този етаж и подаде кабинна заявка на дежурния асансьор, той потегля нагоре и изпълнява тази заявка, след което се връща отново на партера да дежури. Ако по време на движението му надолу постъпят попълни етажни повиквания, асансьорът спира на тези етажи.

Освен описания по-горе случай в системата за управление са предвидени още няколко ситуации, при които дежурният асансьор става избран и потегля от партерния етаж да обслужва етажи с повиквания:

а. При постъпване едновременно на три или повече етажни повиквания.

Големият брой етажни повиквания означава, че има рязко повишаване на броя на пътниците по етажите, при което избраният асансьор може да се окаже недостатъчен да се справи с трафика. Ето защо системата изпраща дежурния асансьор да помага на избрания. След като броят на етажните повиквания спадне под три, дежурният асансьор отново остава на партера.

б. При постъпване на етажно повикване зад движещия се надолу избран асансьор.

В този случай се смята, че пътникът, който е пристигнал на етаж над отдалечаващата се кабина, ще трябва да чака много дълго време, докато избраният слезе до първия етаж, спирайки евентуално и на етажите, за които са постъпили допълнително попълнителни етажни повиквания, и едва след това да се върне нагоре да го обслужи. Ето защо при тази ситуация системата за управление отправя на това повикване дежурния асансьор. При това, ако при движение на този асансьор надолу постъпят междувременно нови попълнителни етажни повиквания, той обслужва и тези етажи.

в. Ако до изтичане на определено време (14-16 s) избраният асансьор не потегли да обслужи етаж с постъпилото повикване.

В повечето случаи това означава, че избраният асансьор е повреден или задържан умишлено на етаж от пътник, поради което системата за управление изпраща дежурния асансьор да обслужи този етаж (или етажи).

г. Когато избраният асансьор пътува с „пълен товар“ в кабината.

В този случай избраният асансьор не спира на етажите, от които са постъпили етажни повиквания и за да се избегне продължителното чакане на пътниците, системата изпраща дежурния асансьор да обслужи тези етажи.

д. Когато избраният асансьор е изключен, дежурният асансьор започва да изпълнява функциите на един асансьор със събирателно управление надолу.

В този случай дежурството на партерния етаж отпада.

Групово двупосочно събирателно управление

Когато за обслужването на една сграда (обикновено административна) е необходим повече от един асансьор, най-икономично и ефективно обслужване дава груповата система за управление на асансьорите. При това асансьорите, обединени в група, се разполагат на едно място в сградата, като групата може да има от два до шест асансьора. При някои големи сгради се проектират и групи с осем асансьора, като в една редица

се разполагат не повече от четири асансьора. При по-големи групи те се разполагат един срещу друг на разстояние, не по-голямо от 3-4 m. С това се цели да се позволи на пътника, който чака на даден етаж, да успее да пристигне навреме до вратата на дошлия по негово повикване асансьор.

Групата асансьори с двупосочно събирателно управление има на всеки етаж обща етажна бутониера с два бутона – „нагоре” и „надолу”. Пътникът на етажа натиска бутон, който съответства на желаната посока. По този начин системата за управление може да отчете в каква посока пътниците на всеки етаж желаят да ползват асансьора. Всички етажни повиквания и кабинни заявки се регистрират и съхраняват в паметта на системата и се изпълняват по начин, както при *двупосочно събирателно управление* на един асансьор: на етажите с повиквания общата система за управление праща асансьора, който ще пристигне за най-кратко време. Така се постига сравнително малко време на чакане и се изключват излишните пътувания на кабините.

Освен етажните бутониери при тази система за управление на етажите се монтира за всеки асансьор по едно табло за посока на движението, снабдено с две светлинни стрелки – „нагоре” и „надолу”, и звуков сигнал за пристигащ асансьор. На крайните спирки тези стрелки са само в една посока – нагоре за първата и надолу за последната спирка. Звуковият сигнал се подава малко преди пристигането на асансьора на съответния етаж и едновременно с това светва стрелката за посоката, в която ще продължи да се движи асансьорът.

Освен това на партерния етаж се разполага по едно светлинно табло за всеки асансьор, показващо местоположението на кабината по етажите. При асансьорите с автоматични врати такова табло се поставя и в кабината.

Два асансьора в една група (дуплекс)

При липса на етажни повиквания или кабинни заявки единият асансьор дежури на партера, а другият остава избран на някой от етажите. При постъпване на единични етажни повиквания пътниците се обслужват от избрания асансьор. В този случай дежурният асансьор не потегля от партерния етаж. Когато на този етаж пристигне пътник и потегли с дежурния асансьор нагоре, той става избран, а избраният асансьор, ако стои свободен на някой междинен етаж, става неизбран и потегля надолу към партера да дежури.

За разлика от дуплекса със *събирателно управление надолу*, където винаги един и същ асансьор дежури на партера, тук системата отправя на партера да дежури първия освободил се асансьор.

И при тази система са предвидени няколко ситуации, при които дежурният асансьор става избран и започва да изпълнява етажни повиквания, с което се осигурява гъвкаво нагаждане на системата към различните интензивности и посоки на потока от пътници при използването на асансьорите през целия ден.

а. При постъпване на три и повече етажни повиквания.

На практика това означава, че има повишена интензивност на транспортния поток и че избраният асансьор няма да поеме сам всички пътници по етажите. В този случай и дежурният асансьор потегля да обслужва етажите с повиквания. При това в системата за управление е предвидено автоматично разделяне на сградата на две зони – горна и долна, като границата на двете зони се намира обикновено малко над средата на сградата. При постъпване на три и повече заявки от горната зона и наличие на заявки и в долната зона единият асансьор се отправя към най-горната заявка от горната зона, а вторият – към най-горната заявка от долната зона. Асансьорът, който е за долната зона, обслужва само повиквания от тази зона. При подаване на кабинна заявка на този асансьор за етаж от горната зона той влиза в тази зона и изпълнява тази заявка, но след това се отправя към своята зона, без да спира на етажите с попълнени етажни повиквания в горната зона, т.е. игнорира ги.

Смисълът на описания по-горе алгоритъм е следният: в края на работния ден служителите напускат сградата почти едновременно и ако няма разделение на сградата на горна и долна зона, и двата асансьора ще започнат да събират пътници от най-горния етаж надолу и кабините им ще се запълват, при което пътниците от средната и долната част на сградата ще трябва да чакат, докато всички пътници от горните етажи напуснат сградата. За да се избегне това и да се получи по-равномерно по време транспортиране на пътниците, в системата за управление се въвежда описаното по-горе зонироване на асансьорите, при което едната кабина обслужва горната част, а втората – долната част на сградата.

б. Когато дежурният асансьор се движи (независимо в каква посока) и постъпни повикване зад него.

Смисълът на този алгоритъм бе обяснен по-горе, както и този на следващите три. Затова останалите три случая, при които дежурният асансьор става избран, ще бъдат само отбелязани.

в. Когато има етажно повикване и избраният асансьор не потегли до изтичането на определено време (14-16 s).

г. Когато кабината на избрания асансьор е запълнена до „пълн това“.

д. Когато избраният асансьор е изключен.

Когато в сградата има етажи под основната спирка (напр., сутерен или гаражи), повикванията от тях се възприемат като обикновени етажни повиквания, т.е. тези етажи се обслужват от избрания асансьор. Но тук е въведено допълнително условие – когато избраният асансьор не се намира на партерния етаж и не се движи надолу, за да съкрати чакането на пътниците на сутеренната спирка, системата отправя намирацията се на партера дежурен асансьор.

Днес съществуват и се използват сложни регулатори и превключващи схеми, осигуряващи точно управление на скоростта на движение във всеки момент. Те отстъпват мястото си на специални панели. Буквално всички публични асансьори са автоматизирани и имат възможност за прецизно управление и настройване посредством микрочипови компютри с максимална ефективност и сигурност. Някои от последните тенденции за постигане на по-голяма сигурност, надеждност и ефективност при работа на асансьорите и намаляване на необходимото за целта функционално пространство са следните:

Използване на асансьори с две кабинни, движещи се в една и съща шахта. Този нов тип асансьорни системи включва две независимо работещи кабинни, които използват една и съща шахта, което, води до повишени експлоатационни качества и същевременно намаляване на необходимото за системата пространство. Кабините са разположени една над друга и не са взаимосвързани. Те работят независимо, обслужвайки различни етажи, използвайки общи направляващи релси. Това увеличава капацитета, като спестява една асансьорна шахта и се намалява общият обем.

Четиристълбална система за сигурност гарантира поддържането на минимално разстояние между двете кабинни. Тази система работи с помощта на контролна система за избор на предназначението. Този вид конструкции са идеални за нови сгради или за съществуващи с увеличен трафик на хора (когато е необходимо добавяне на нови кабинни без промяна в броя на шахтите).

Контролна система за избор на предназначението. За да се избегнат отнемащи време спирания и за да се осигури по-бързо придвижване на пътниците, се използва диспечерска система за разстояние, която изчислява най-краткото възможно време за достигане до местоназначението вместо най-малкото възможно време за изчакване пред вратите на асансьора. Пътниците въвеждат желаното от тях местоназначение, преди дори да влязат в асансьора, посредством специален тъч-панел и биват групирани според местоназначението. В някои изпълнения на подобна система не се предвиждат бутони във вътрешността на кабините. Тези системи реализират намаляване на времето за транспортиране на пътници с около 20÷30%.

Развитието на технологиите води до бърз напредък в развитието на асансьорната техника. Това допринася не само за увеличаване на удобството и сигурността на хората, но и до намаляване на необходимото за асансьорните съоръжения място и придаване на естетичен вид и издържаност на архитектурата на сградите.

Съвременен решение е при наличие на повече асансьори те да се включват в обща система. Това означава, че обслужването става с минимално изчакване – приемат се команди и от кабината, и от етажите, като спира първата кабина, движеща се в желаната посока.

Асансьорите вече могат да пресмятат. Инженерите от MITSUBISHI ELECTRIC научиха дори и тези наглед тежки и силно механизирани

устройства на логика и интуиция. Ако в асансьора, в който се возите, двама човека чакат на 3-ия етаж, за да се качат съответно до 8-ия и 20-ия, а на 5-ия има друг, който пък трябва да стигне до 25-ия, сметката става доста сложна. Но за подемната машина, разработена от MITSUBISHI ELECTRIC, това не е трудна задача. Всъщност умният асансьор се управлява от изкуствен интелект, наречен *AI Supervisory Control 2200*. Компютърът в това устройство не само има грижата да изпрати асансьора към пътниците, които са го извикали, но и го командва по доста необичаен начин. Той не само използва набор от определени правила, но и помни натрупалия се опит, и по тези сведения съставя бъдещите си прогнози за маршрута. Системата може да взема решения, позовавайки се на данните, получени от логическите операции. Целта е човек да чака възможно най-малко асансьора и да се добере максимално бързо до желаното място. А не както често става машината да се лута нагоре-надолу между етажите, а хората да се ядосват, че ги бавят. При умните асансьори на MITSUBISHI ELECTRIC това не може да се случи. Те освен това са и нещо като психолози. Вградени фото-сензори дават информация за реакциите на хората. Тоест, ако някой пасажер, натиска бутона непрекъснато, за да повика по-бързо асансьора, и потропва нервно, машината отчита това и отива първо при него.

V. Финансови аспекти, свързани с асансьорните уредби

Огромен е интересът към покупка и инсталация на асансьори през последните години. Най-много поръчки идват от хотели, ново строителство и бизнес сгради, но все повече стават и клиентите, които имат стари кооперации без асансьор или малки нови блокове, на които тази услуга е спестена.

Цените се движат в много голям диапазон, зависещ от три основни фактора – родно или вносно производство, големина и товароподемност, луксозно изпълнение на интериора. Всичко е въпрос на договаряне, но най-често малките кооперации търсят максимално ниска цена, а тя варира около 20000 лв. Това е цена за базов модел с полуавтоматични врати.

Ако асансьорната кабина е с автоматични врати, отварящи се сами на етажите, то цената нараства с €2000÷3000. Към сумата за самия асансьор се добавят още около 20% за изграждане и монтаж.

Други разходи са свързани с направата на проект, независимо дали се ползва стара клетка в сграда, или се тегли външен асансьор. Този проект е придружен и със съответната техническа документация. Естествено, по-евтиният вариант е да се ползва стара шахта в кооперацията, защото така няма да се плащат големи строителни разходи. Когато се монтира на вътрешна шахта, трябва да се види конструкцията ѝ. Ако е тухлена, то трябва допълнително укрепване. По-добрият вариант е шахтата да е изцяло бетонна.

Ако такава шахта няма, а стълбищната клетка е малка и не позволява изграждането, то в масовия случай се прави външен асансьор по една от

стените. Обикновено се гледа това да е в двора и асансьорът да е на външна стена, която е на стълбищната клетка. Така вратите ще се отварят в стълбището на кооперацията. Фирмата, която доставя асансьора, може да изгради и външната конструкция, като за 4-етажна сграда тя струва около €3500.

Металната конструкция може да остане открита, но е възможно да се облече. Обличането се поема от друга строителна организация, която може да използва гипсокартон, стъкло или друг вид материал.

Всяка кооперация трябва да си избере големината на кабината, която е свързана с броя на хората и товароподемността. За сгради товароподемните асансьори са от 320 до 1000 kg.

Като брой пътници кабините поемат 4, 8, 10 или 13 лица. Има и модели за 21 лица и товароподемност от 1600 kg, но тяхната цена е по-висока. По принцип от 1000 kg нагоре са товарните асансьори, като например асансьор за автомобили е с товароподемност от над 3 тона.

Изборът на асансьор трябва да се съобрази и със задвижващия механизъм. Той може да е електромеханичен, но модерни са и хидравличните асансьори. Този тип асансьори са по-безопасни, твърдят експерти. Напр., при спиране на електрозахранването хидравличният асансьор не засяда между етажите, а спира задължително на етаж и по този начин хората могат спокойно да излязат.

Важен за цената е и интериорът на кабината. Той може да е луксозен или базов, като фирмата производител обикновено си има каталог. В базовите модели обикновено е включена облицовка от ПДЧ, осветление, огледало и табло с бутоните. На пода се монтира подходящо покритие с висока износостойчивост.

Производителите предлагат всякакви кабинни, включително и такива, които са удобни и се използват за мезонет или малка триетажна къща. Специално поръчките за монтаж на асансьори в мезонети се увеличават в последно време. Един такъв асансьор струва под 10000 лв.

Целият период на проектиране, изпълнение и монтаж отнема около 4 месеца. Самият асансьор се изработва за 3 месеца. Монтажът е около половин месец (още толкова е срокът за проект).

След като приключи монтажът и всичко е готово за експлоатация, кооперацията трябва да извика експерти от служба "Технически надзор" към Държавната агенция за метрология и технически надзор. Тази служба извършва техническия преглед, прави изпитания на всички детайли и узаконява използването на асансьора. Плаща се държавна такса, която е 90 лв. Такъв преглед се прави задължително на всеки три години. Освен това етажната собственост е длъжна да сключи договор с фирма за поддръжка. Таксата на тези фирми обикновено е на брой етажи, като е около $4 \div 5$ лв. на етаж. Това означава, че кооперация с 5 етажа трябва да плаща месечно за поддръжка на асансьора около 20 лв.

VI. Нормативна база

Изследвайки и изучавайки темата за асансьора, трябва да се отбележат някои нормативни документи, които касаят този въпрос: Наредбата за безопасна експлоатация и техническия надзор на асансьори и Наредбата за съществените изисквания и оценяване на съответствието на асансьорите и техните предпазни устройства. Асансьор по смисъла на гореспоменатите наредби е „устройство, което обслужва определени нива на сгради и съоръжения чрез кабина, движеща се по твърди направляващи елементи, наклонени под ъгъл, по-голям от 15 градуса спрямо хоризонталата, или по определена траектория без твърди направляващи елементи, и е предназначена за превоз на хора, хора и товари, или само товари”. Асансьорите се пускат на пазара и в действие само ако при правилно монтиране, поддържане и използване не застрашават безопасността и здравето на хората или на вещите.

Специални изисквания за асансьорите според нормативните документи:

1) Изисквания към устройството

Обикновено обществените или пътническите асансьори биват за 6-8-10-12 лица, като под 6 броя пътници се използват за по-малки жилищни сгради. Кабината на асансьора трябва да се проектира и изработи така, че да осигури необходимото пространство и здравина за максимален брой пътници, съответстващи на проектната товароподемност. Освен това конструктивните параметри на кабината не трябва да затрудняват достъпа и използването на асансьорите от инвалиди.

Носещите средства за окачване на кабината, техните механизми и свързващи елементи трябва да се конструират така че, да осигурят без необходимата безопасност и да намалят риска от падане на кабината, като се отчитат условията на експлоатация, видът на използваните материали и условията за производство. Всеки асансьор трябва да има сертификат за съществените съответствия, като всички основни детайли, от които зависи безопасността, трябва да са сертифицирани и да гарантират, че изделието отговаря на всички действащи стандарти.

Други изисквания са: да не се допуска потегляне на кабината при недопустимо превишаване на номиналната товароподемност; асансьорите да са оборудвани с ограничители за превишена скорост. Според стандартите на Европейския съюз например асансьорите задължително трябва да са с автоматични врати и да имат достъп и съответната символика за инвалиди.

2) Изисквания, свързани с рисковете за хората извън кабината на асансьора

Асансьорите трябва да са проектирани и изработени така, че: пространството, в което се движи кабината, да е недостъпно освен за дейностите по техническото обслужване и ремонта, както и при аварийни случаи; да се избегне рискът от смачкване на кабината в едно от крайните положения чрез осигуряване на свободно пространство над и под кабината.

Асансьорите трябва да имат поне едно предпазно устройство, което да не допуска по време на експлоатация случайно или умишлено пускане в движение на кабината, ако не са затворени и заключени всички врати на шахтите. Също така например машинното отделение и шахтите трябва да имат необходимата вентилация.

3) Изисквания, свързани с рисковете за хората в кабината на асансьора

Кабините на асансьорите трябва да са оградени със стени, подове и тавани с изключение на отворите за вентилация и врати по цялата им височина. Кабинната врата трябва да е проектирана така, че кабината да не може да се движи, ако вратата не е затворена. Освен това вратата на кабината трябва да остане затворена и заключена, ако асансьорът спре в зоната между два етажа, където има опасност от попадане на пътници в шахтата или от падане, когато асансьорът е без шахта. Асансьорите трябва да имат предпазни устройства, предотвратяващи свободното падане и неконтролируемото движение на кабината при прекъсване на електрозахранването или при повреда на някоя от съставните ѝ части. Тези предпазни устройства трябва да са в състояние да спрат кабината при предвидените от производителя номинална товароподемност и максимална скорост, при това без да предизвикат вредно ускорение за пътниците независимо от големината на товара.

4) Изисквания, свързани с други рискове

Автоматичните врати трябва да са снабдени с устройство, предпазващо пътниците от притискане. Трябва да бъдат и пожароустойчиви, да запазват своята цялост и да бъдат със съответните характеристики по отношение на устойчивостта на възпламеняемост и пренасяне на топлина.

Асансьорите трябва да са оборудвани със средства, позволяващи освобождаването и евакуирането на пътниците в кабината при авария. Освен това кабините трябва да са оборудвани със средства за двустранна връзка, позволяваща постоянен контакт с аварийната служба, която да продължава дори когато нормалното електрозахранване е изключено. Друго изискване е кабините да осигуряват достатъчно вентилация за пътниците в тях дори и в случаите на продължително спиране на асансьорите, както и да имат достатъчно осветление, когато са в движение и когато вратата е отворена, и да имат аварийно осветление.

Маркировката вътре в асансьора също е много важна, а именно: изисква се всяка кабина да има табела с информация за номиналната товароподемност и килограми; максималния брой пътници, които могат да се превозват; ясна и видима инструкция за евакуация, при условие че асансьорът е проектиран така, че пътниците, затворени в кабината, да се освободят без външна помощ.

5) Инструкции за експлоатация

Задължително всеки асансьор трябва да се придружава с документация на български език, която да включва:

– инструкция за експлоатация, съдържаща чертежи, схеми и други необходими технически документи за нормално използване, поддържане, извършване на прегледи и ремонтване, както и за извършване на периодични проверки и спасителни операции;

– дневник, в който се отбелязват ремонти и периодичните проверки.

6) Безопасна експлоатация на асансьори

Асансьорите са обезопасени и поднадзорни съоръжения с повишена опасност на експлоатация и са под надзор на Инспекцията за държавен и технически надзор (ИДТН). Поддържането, ремонтването и преустройството на асансьори се извършва от лица (фирми), които са получили разрешение за извършване на такава дейност от председателя на Държавната агенция за метрология и технически надзор (ДАМТН) или от оправомощени от него длъжностни лица от Главна дирекция ИД. Специализираната фирма за асансьорна поддръжка трябва да осигури 24-часово непрекъснато аварийно обслужване.

7) Технически надзор, прегледи и проверки

Инспекторите извършват следните прегледи на асансьорите:

- първоначални – след регистрирането;
- периодични – най-малко веднъж на 36 месеца;
- след преустройство;
- след спиране на експлоатацията на асансьора за повече от 6 месеца;
- след замяна или ремонт на някои от основните елементи;
- след аварии и злополуки;
- внезапни.

Всяка година се извършва планово-периодична ревизия и от съответния орган (ИДТН) се издава разрешително на асансьора дали същият продължава да бъде в експлоатация или не. Техническите прегледи се осъществяват в присъствие на собственика или ползвателя на асансьорите и на лицето, което ги поддържа или е извършило техния ремонт или преустройство. Инспекторите попълват резултатите от проверката ревизионните книги и издават ревизионен акт, в който се посочват: евентуални констатирани нарушения, неизправност или несъответствия с нормативните изисквания и техническата документация на съоръжението, както и предписаният тяхното отстраняване; разрешава ли се по-нататъшна експлоатация на асансьора и при какви условия; срок за следващ периодичен преглед.

Тема 15. ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО НА АСАНСЬОРИТЕ. СТАТИЧНИ И ДИНАМИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ ПРИ АСАНСЬОРИТЕ

I. Елементи на електрообзавеждането при асансьорите

1. Общи сведения

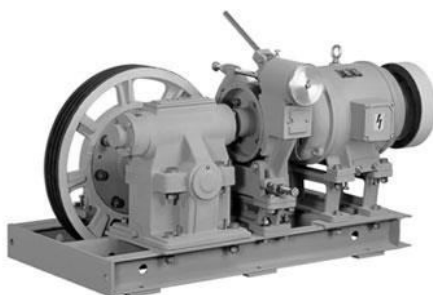
При съвременните асансьори на човека остава минимална част от задълженията за управлението им, а голяма част от операциите на управлението се изпълняват автоматично. Затова електрообзавеждането обхваща електрически двигатели и апарати за избиране на посоката на движение, пускането и спирането, намаляване на скоростта преди спиране, точното спиране, отваряне и затваряне на вратите, попътно спиране при повикване, блокировки и защиты, осветление, сигнализация и др. Електрическите двигатели и апарати се намират на различни места:

- в машинното помещение;
- шахтата;
- кабината.

За електрическа връзка помежду им се използват специални гъвкави многожични проводници, особено когато се отнася до връзките с кабината (флексир кабел).

Особено високи са изискванията към електрообзавеждането за безотказна и безопасна работа. Електрообзавеждането не трябва да допуска аварийни ситуации, още повече нещастни случаи с пътниците.

2. Електрически двигатели



Фиг. 15.1. Общ вид на електрозадвижване за асансьор

Електрическите двигатели за асансьори се произвеждат обикновено за хоризонтален монтаж, в специални серии с оглед задоволяване на повишените изисквания към тях, а именно:

- да имат висок пусков момент;
- да осигуряват преходни процеси за допустимо най-кратко време;
- да имат възможност за регулиране на честотата на въртене и др.

С оглед на точното спиране и необходимостта от ниски скорости използват се и двускоростни асинхронни електрически двигатели с накъсосъединен ротор (АДНСР). Обикновено отношението на голямата към малката честота на въртене е 4:1 или 3:1. Те се приемат при пътническите асансьори до скорост на кабината 1m/s и за товарни асансьори до 0.5 m/s.

Българско производство са две серии АДНСР за асансьори:

- 1) първата серия са едноскоростни с повишено хлъзгане, режим на работа S4 (ПВ до 60% и до 180 включвания за час), пусков момент, по-голям от 2 пъти от номиналния, мощност от 2.7 до 22 kW;
- 2) втората серия са двускоростни, режим на работа S4 (ПВ 40% и 120 включвания за час), мощности от 5.5 до 18 kW.

3. Табло за управление

Таблата за управление зависят от приетата система на задвижване и представляват комплекс от контактори, релета и защитни апарати, понякога се използват и PLC (програмируем логически контролер). Монтират се в машинното помещение. Апаратите са обикновено нормално изпълнение.

4. Етажен превключвател

Спирането на даден етаж се осигурява от етажните превключватели или централен етажен превключвател. Етажните превключватели се задействат механически или електрически. Механичното задействане става чрез лоста на превключвателя, вследствие на което се прекъсва даден сигнал и обикновено се подготвя следващият. Шумни са. Монтират се в шахтата. Приложението им вече е много ограничено. Много повече се използва централен етажен превключвател, монтиран в машинното помещение, също с механично действие, но много по-сигурен в работата и много по-малко шумен. Удобен е за настройка, леко се поддържа. Недостатъкът му е този, че поради хлабини и удължаване на задвижващото въже се изменя настройката му, а с това се появяват отклонения при спиране по етажите. През последните години голямо приложение получи друга конструкция етажен (или централен) превключвател, а именно магнитен тип, особено ефикасен при скорости над 1 m/s.

Превключвателите с електрическо действие биват: индуктивни, фотоелектронни, електромагнитни и др. Индуктивни датчици се използват вместо превключватели. Задействат се при изменение на индуктивното им съпротивление, което се получава чрез затваряне и отваряне на магнитната верига на магнитопровода им при движението на кабината. Безшумни са. Произвеждат се и у нас. За крайните положения на асансьорите се използват крайни изключватели. Те трябва да задействат, когато при движението си кабината премине крайната горна или долна спирка на не повече от 200 mm. Изключвателите могат да въздействат направо в силовите вериги или косвено във веригите за управление.

И в двата случая задействането трябва да става от самата кабина.

5. Бутонно табло за управление

За повикване и командване на асансьорите се използват табла с бутони. Етажните бутони само повикват асансьорите. В зависимост от системата за управление те могат да се разделят за „нагоре“ и „надолу“ и да имат светлинна сигнализация. Етажните бутони могат да се използват като командни само при товарни асансьори без придружител. При пътническите асансьори командните табла с бутони и други сигнали се намират в кабината. За всяка спирка трябва да има бутон. Задължително трябва да има бутон „СТОП“ и бутон за сигнализиране на „ТРЕВОГА“. Бутоните могат да бъдат и със светене, когато са задействани. Понякога на таблото се поставя сигнал за „ПРЕТОВАРВАНЕ“.

6. Електрическа отбивачка

Разрешение за отваряне на шахтовите врати при асансьорите се дава от електрическа отбивачка. Обикновено тя е електромагнитна. Когато асансьорът се намира на даден етаж, отбивачката е освободена и чрез механически лост разрешава на вратата да се отваря. Когато асансьорът е в движение, отбивачката се прибира, за да не отключва дори за момент вратите, край които се минава.

7. Блок-контакт

За да се осигури безопасността на пътниците, при асансьорите се използват различни блок-контакти. От вратите на етажите се използват контакти за контролиране на затворено или отворено положение. Контактите могат да контролират самата врата или бравата ѝ, а може и двете. Подобни блок-контакти се използват и от вратите на кабината. Блок-контакти се използват в схемите за управление също от ограничителя на скоростта или уловителя.

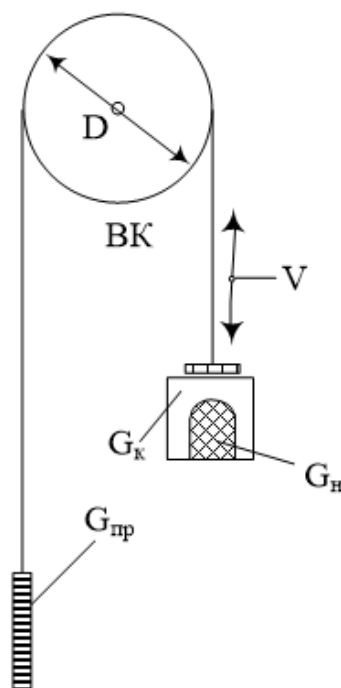
8. Електромагнитна спирачка

Всички асансьори имат механични спирачки, които се задействат електрически. От спирачните системи се изисква сигурност, бързо действие, но в същото време плавност (без удари и тласъци), без шумност. Тези изисквания се удовлетворяват до голяма степен от електрическата част на спирачките.

II. Статични и динамични натоварвания

1. Общи сведения

Определянето на статичните и динамични натоварвания при асансьорите има много общо с това на подемните механизми при крановете, но има особености, свързани с наличието на противотежести (фиг. 15.2).



Фиг. 15.2. Уравновесяване на част от товара с противотежест

При почти всички видове асансьори част от товара се уравновесява с противотежест. Така се изравняват натоварванията при издигане и спускане и се намалява мощността на двигателя. Теглото на противотежестта $G_{пр}$ се приема да уравновесява теглото на кабината G_k и част от теглото на полезния товар G_n :

$$G_{пр} = G_k + \alpha \cdot G_n$$

където $\alpha = 0,35 \div 0,6$ – показва каква част от теглото на полезния товар се уравновесява.

Необходимо е да се отбележи, че при пътнически асансьори методиките за проектиране на цялата уредба приемат като тегло на един пътник стойностите 70 или 80 kg.

2. Определяне на статичните натоварвания

Ако асансьорът няма противотежест, необходимата статична мощност $P_{ин1}$ [kW], при издигане на номиналния товар ще бъде:

$$P_{ин1} = \frac{(G_k + G_n)v}{\eta_{ин1}} \cdot 10^{-3}, \quad [kW]$$

където:

- G_k и G_n – тегло на кабината и номиналния товар, N;
- v – скорост на асансьора m/s;
- $\eta_{ин1}$ – к.п.д. на асансьора при издигане на номинален товар.

К.п.д. η при асансьорите има по-ниски стойности от тези при подемните механизми на крановете, защото включва допълнителни загуби от триене в направляващите:

$$\eta = \frac{\eta_{\text{пм}}}{K_{\text{тр}}}$$

където:

- $\eta_{\text{пм}}$ – к.п.д. на подемен механизъм на кран;
- $K_{\text{тр}} = 1,15 \div 1,3$ – коефициент, отчитащ загубите от триене в направляващите.

Мощността, необходима за издигане на номинален товар при наличие на противотежест, ще бъде:

$$P_{\text{ин}} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{н}} - G_{\text{пр}})v}{\eta_{\text{ин}}} \cdot 10^{-3}$$

Отношението на $P_{\text{ин}}$ към $P_{\text{ин1}}$ ще бъде:

$$\frac{P_{\text{ин}}}{P_{\text{ин1}}} = \frac{G_{\text{к}} + G_{\text{н}} - G_{\text{пр}}}{G_{\text{к}} + G_{\text{н}}} = 1 - \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{к}} + G_{\text{н}}}$$

Следователно, с увеличаване на $G_{\text{пр}}$ до стойност $G_{\text{к}} + G_{\text{н}}$ необходимата мощност ще намалява, дори ще стане нула. Подобно ще е положението при спускане на $G_{\text{н}}$, като случаите са идеализирани. Очевидно е обаче, че натоварванията при издигане и спускане на празна кабина също ще се изменят при наличие на противотежест.

Отчитайки големината на $G_{\text{пр}}$ от горния израз се получава:

$$P_{\text{ин}} = \frac{G_{\text{н}}(1 - \alpha) \cdot v}{\eta_{\text{ин}}} \cdot 10^{-3}$$

Статичният момент при издигане на номинален товар ще бъде:

$$P_{\text{ин}} = \frac{P_{\text{ин}}}{\omega_{\text{д}}} = \frac{G_{\text{н}}(1 - \alpha) \cdot R}{i \cdot \eta_{\text{ин}}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{G_{\text{н}}(1 - \alpha) \cdot v}{n_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{ин}}}, \quad [Nm]$$

където:

- R – радиус на въжеводещото колело ВК (фиг. 15.2), m;
- $\omega_{\text{вк}}$ – ъглова скорост на ВК ($v = \omega_{\text{вк}} \cdot R$), rad/s;
- $i = \frac{\omega_{\text{д}}}{\omega_{\text{вк}}}$ – предавателно отношение на механизма;
- $n_{\text{д}}$ – честота на въртене на електрическия двигател, min⁻¹.

При издигане на празна кабина ($G_{\text{н}} = 0$) статичната мощност ще бъде:

$$P_{\text{ио}} = \frac{(G_{\text{к}} - G_{\text{пр}}) \cdot v_0}{\eta_{\text{ио}}}$$

Но $G_{\text{к}} - G_{\text{пр}} = -\alpha \cdot G_{\text{н}}$, тъй като $G_{\text{пр}} > G_{\text{к}}$, следователно

$$P_{\text{ио}} = \frac{-\alpha \cdot G_{\text{н}} \cdot v_o}{\eta_{\text{ио}}}$$

където:

- v_o – скорост при издигане на празна кабина;
- $\eta_{\text{ио}}$ – к.п.д при издигане на празна кабина.

Отрицателната стойност за $P_{\text{ио}}$ означава, че всъщност противотежестта ще издига празната кабина, а електрическият двигател ще работи в режим на генераторно (спирачно) спиране. Тогава правилното записване на горния израз ще бъде:

$$P_{\text{ио}} = \alpha \cdot G_{\text{н}} \cdot v_o \cdot \eta_{\text{ио}}'$$

$$\eta_{\text{ио}}' = 2 - \frac{1}{\eta_{\text{ио}}} - \text{к. п. д. при спускане на даден товар}$$

Статичният момент при издигане на празна кабина съответно ще бъде:

$$M_{\text{ио}} = \frac{P_{\text{ио}}}{\omega_d} = \frac{\alpha \cdot G_{\text{н}} \cdot v_o \cdot \eta_{\text{ио}}'}{i} = \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{G_{\text{н}} \cdot v_o \cdot \eta_{\text{ио}}'}{n_{\text{до}}}$$

където $n_{\text{до}}$ – честота на въртене на електрическия двигател при издигане на празна кабина.

Статичната мощност при спускане на номинален товар $P_{\text{сп.н}}$ ще бъде:

$$P_{\text{сп.н.}} = (G_{\text{к}} + G_{\text{н}} - G_{\text{пр}}) \cdot v' \cdot \eta_{\text{сп.н.}} = G_{\text{н}} (1 - \alpha) \cdot v' \cdot \eta_{\text{сп.н.}}$$

Статичният момент при спускане на номинален товар ще бъде:

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\omega_o} = \frac{G_{\text{н}} (1 - \alpha) \cdot R \cdot \eta_{\text{сп.н.}}}{i} = \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{G_{\text{н}} (1 - \alpha) \cdot v'}{n_d'} \cdot \eta_{\text{сп.н.}}$$

където:

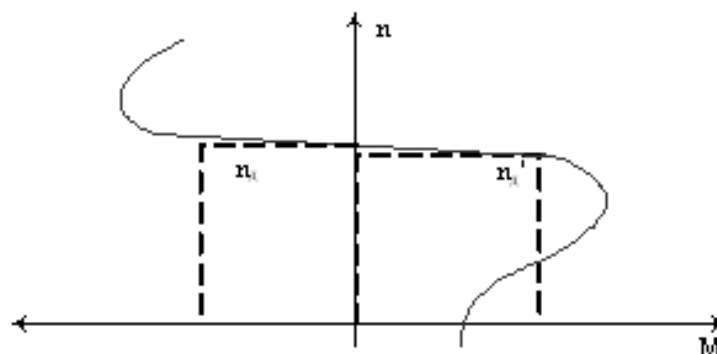
- $\eta_{\text{сп.н.}}$ – к.п.д. при спускане на номинален товар;
- v' – скорост на движение при спускане на номинален товар;
- n_d' – честота на въртене на електрическия двигател при спускане на номинален товар.

Статичната мощност при спускане на празна кабина ($G_{\text{н}} = 0$), $P_{\text{со}}$ ще бъде:

$$P_{\text{со}} = (G_{\text{к}} - G_{\text{пр}}) \cdot v_o' \cdot \eta_{\text{со}} = -\alpha \cdot G_{\text{н}} \cdot v_o' \cdot \eta_{\text{со}}$$

където:

- $\eta_{\text{со}}$ – к.п.д. при спускане на празна кабина;
- v_o' – скорост на движение при издигане на празната кабина.



Фиг. 15.3. Механична характеристика на електрическия двигател на асансьор

Очевидно, при спускане на празна кабина в действителност се издига товарът ($G_k - G_{пр} = \alpha \cdot G_n$) и правилното записване на горния израз е:

$$P_{co} = \frac{\alpha \cdot G_n \cdot v_o'}{\eta_{co}'}$$

където: η_{co}' – к.п.д. при издигане на товара.

Статичният момент при спускане на празна кабина ще бъде:

$$M_{co} = \frac{P_{co}}{\omega_d} = \frac{\alpha \cdot G_n \cdot v_o'}{i \cdot \eta_{co}'} = \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\alpha \cdot G_n \cdot v_o'}{n_{до}' \cdot \eta_{co}'}$$

където $n_{до}'$ – честота на въртене на електрическия двигател при издигане на кабината.

Анализирането на получените по-горе изрази на статичните натоварвания при наличие на противотежест показва, че големите натоварвания при издигане и спускане на номинален товар намаляват в сравнение с тези без противотежест, а малките натоварвания при издигане и спускане на празна кабина се увеличават. Ако приемем $\alpha = 0,5$ и че всички скорости и к.п.д са еднакви, ще се получи: $P_{ин} = P_{co}$ и $P_{сн} = P_{ио}$, т.е. товарите са приблизително изравнени и необходимата мощност ще намалее в сравнение със случая без противотежест. Очевидно стойността на α (а оттам и теглото на противотежестта) има значение за избиране на мощността и ще зависи от режима на работа на асансьора. Ако непрекъснато се издига и спуска напълно натоварен асансьорът за α трябва да се избере една стойност. При издигане на пълен товар и спускане на празна кабина – друга стойност и при друг режим на работа съответна стойност за α .

3. Определяне на оптимална стойност на теглото на противотежестта – $G_{пр}$

За случаите, когато не е достатъчно известен режимът на натоварване на асансьора, се разглежда най-тежкият случай:

$$G_{пр} = G_k + \frac{1}{2} G_n (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Издигане на пълен товар – „ $\alpha_1=1$ “. Спускане на празна кабина – „ $\alpha_2=0$ “. Тогава:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{к}} + 0,5 \cdot G_{\text{н}}$$

Следователно: $\alpha = 0,5$

Затова най-често при избора на $G_{\text{пр}}$ се приема $\alpha = 0,5$, но по-подробен анализ и опитът от експлоатацията в много страни показват тенденция за по-малки стойности на α (например: $\alpha = 0,4$), особено когато асансьорите работят в административни и жилищни сгради и имат часове на пълно натоварване в двете посоки.

4. Определяне на динамичните натоварвания

Динамичният момент при пускане на асансьора зависи от:

- среден пусков момент на двигателя – $M_{\text{д.ср.п.}}$;
- съпротивителен момент при даден товар и спирка – $M_{\text{сi}}$;
- посока на движение при пускане.

Динамичният момент при спиране на асансьора зависи от:

- спирачния момент – $M_{\text{сп}}$;
- участва ли електрическият двигател при процеса на спиране и ако да, с какъв момент;
- съпротивителен момент при даден товар и спирка – $M_{\text{сi}}$;
- посока на движение при спиране.

За определяне на времената при пускане и спиране трябва да се познава приведенният махов момент, който се определя от израза:

$$GD_{\text{пр}}^2 = k \cdot GD_{\text{д}}^2 + \frac{4G \cdot v^2}{\omega_{\text{д}}^2}$$

В общия случай G ще бъде:

$$G = G_{\text{к}} + G_{\text{н}} + G_{\text{пр}} + G_{\text{в}} + G_{\text{ув}}$$

където:

- $G_{\text{к}}, G_{\text{пр}}$ – тегла на кабината и противотежестта, N;
- $G_{\text{в}}, G_{\text{ув}}$ – тегла на носещите и уравновесяващи въжета, N.

Съставната част на $GD_{\text{пр}}^2$ от въртящите се маси (първият член) има постоянна стойност, а тази от постъпателните (вторият член) е променлива. Следователно, $GD_{\text{пр}}^2$ се изменя за всяка спирка, което оказва влияние върху времената на пускане и спиране. Затова трябва да се прави проверка за целия цикъл на работа дали ускоренията и забавянията се намират в определени допустими граници.

Тема 16. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МОЩНОСТТА И ИЗБИРАНЕ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПРИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АСАНСЬОРИ

При определяне на мощността на електрическите двигатели, задвижващи асансьорни уредби, е необходимо да се знаят: кинематичната схема, товароподемността, теглото на кабината и противотежестта, скоростите на движение, допустимите ускорения и забавяния, броят на етажите, разстоянието между етажите, режимът на работа на асансьорите и други параметри.

Режимът на работа се определя от предназначението на асансьора и условията, при които работи. Товароподемните асансьори, включени в поточни технологични линии, имат равномерен товаров график с циклично постъпващи товари. При пътническите асансьори условията на работа в значителна степен зависят от предназначението на сградата, в която работи асансьорът. Във всички сгради върховото натоварване е сутрин и вечер (преди и след завършване на работното време). В жилищните сгради и хотели най-голям поток на пътници е сутрин насочен надолу, а вечер – нагоре, а при административните сгради е обратно – сутрин нагоре и вечер надолу.

Мощността на електрическите двигатели се изчислява за върхови режими на работа, като само в някои конкретни случаи се налага изчисление и за нормален дневен режим на работа. Съществено влияние при изчисляването на мощността на електрическия двигател оказва и схемата за управление.

Разработени са методики за избор както за едноскоростни, така и за двускоростни електрически двигатели.

Изчисляването на необходимата мощност на електрическия двигател се свежда до предварителен негов избор по опростената товарова диаграма (без отчитане на динамичните процеси, най-вече пускането), построяване на точната товарова диаграма (с отчитане на преходните режими) и проверяване на избрания електрически двигател по методите на еквивалентния ток или момент.

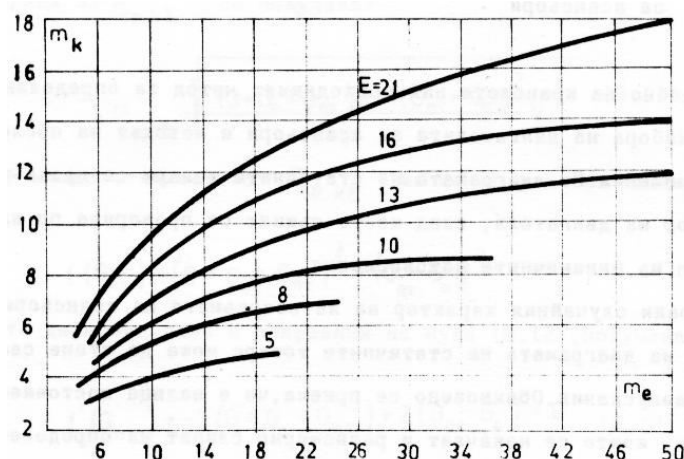
При равномерен товаропоток товаровата диаграма се построява в зависимост от вероятния брой спирки m_k на кабината. Броят на вероятния брой спирки m_k се определя с помощта на кривите, показани на фиг. 16.1, при известни брой на етажите m_e и вместимост на кабината E (в брой пътници).

Изменението на товара на кабината ΔG на всяка вероятна спирка се приема за еднакво:

$$\Delta G = \frac{\gamma \cdot G_H}{m_k}$$

където:

- γ – коефициент, отчитащ натоварването на кабината в началото;
- G_H – номинална товароподемност на асансьора.



Фиг. 16.1. Криви за определяне на вероятния брой спирки на асансьора (m_k – вероятен брой спирки; m_e – брой на етажите; E – вместимост на кабината)

Общата съпротивителна сила, действаща на всяка спирка при издигане на товара без противотежест, е:

$$F_i = G_k + \gamma G_n - k \Delta G$$

където k – номер на вероятната спирка, ($k = 1, 2, 3, \dots, n$).

При наличие на противотежест общата сила при движение се определя така:

$$F_i = G_k + \gamma G_n - G_{пр} - k \Delta G$$

За случаите, когато не е достатъчно известен режимът на натоварване на асансьора, се разглежда най-тежкият случай:

$$G_{пр} = G_k + \frac{1}{2} G_n (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Статичните моменти, съответстващи на силите при движение за вероятните спирки, се определят от изразите:

$$M_i = \frac{F_i \cdot D_i}{2i \eta_m} \text{ при } F_i > 0 \quad M_i = \frac{F_i \cdot D_i}{2i} \eta_m' \text{ при } F_i < 0$$

При построяване на точната товарова диаграма трябва да се отчита и влиянието на някои други фактори, зависещи от условията на експлоатация: време на изравняване на кабината с етажната площадка, движение на кабината с понижена скорост, случайни въздействия и т.н. Тези фактори при изчисленията обикновено се отчитат, като общото време на цикъла се увеличи с 10%. При неравномерен товаров поток изчисленията се извършват в същия ред, но за определянето на съпротивителните сили трябва да бъде даден графикът на изменение на товаропотока по етажите при движение на кабината нагоре и надолу.

При избирането на електрическите двигатели за товарни асансьори в някои отношения изчисленията са облекчени. Обикновено товарните асансьори се движат между две спирки, което създава по-добри възможности за определяне на товарите при движение нагоре и надолу и на режима на работа. Изборът на типа на електрическия двигател се обуславя преди всичко от изискванията за точно спиране, скоростта на движение, допустимите стойности на ускоренията, околната среда.

**Тема 17. ТОЧНО СПИРАНЕ НА КАБИНАТА НА АСАНСЬОРИТЕ.
ТИПОВЕ ДВИГАТЕЛИ ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ ПРИ
АСАНСЬОРИТЕ**

I. Точно спиране на кабината

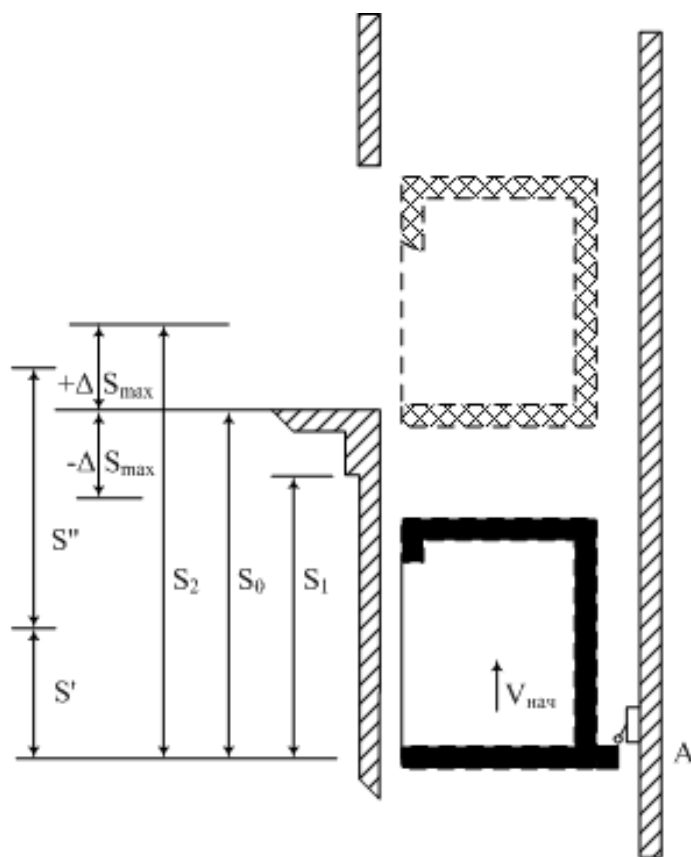
Кабината на асансьорите при спиране трябва да застава така, че подът ѝ да бъде на едно ниво с пода на съответния етаж (площадка). По различни причини това не винаги се осъществява.

Точността на спиране на кабината се определя с полуразликата от пътя, който тя изминава при спиране с товар и без товар в движение в една посока, при което за сравнение и изчисление се приема по-голямата стойност от двете посоки на движение, т.е.

$$\Delta S = \frac{S_2 - S_1}{2}$$

Съгласно техническите изисквания към асансьорите и съществуващия опит допустимото отклонение $\Delta S_{\text{доп}}$ на пода на кабината от нивото на етаж не трябва да бъде по-голямо от $\pm 35 \div 50 \text{ mm}$ за пътнически и товарни асансьори със свободно товарене и $\pm 10 \div 15 \text{ mm}$ за товаро-пътнически и товарни асансьори с товари на колички.

За да се изяснят причините за неточното спиране се разглежда процесът спиране на една кабина при подхода ѝ към един от етажите – фиг. 17.1.



Фиг. 17.1. Относно точното спиране на кабината

Примерно, кабината пристига отдолу. При приближаване на площадката тя задейства електрическият апарат А (етажен превключвател, централен разпределител, индуктивен датчик и др.), който подава импулс за изключване и спиране. Изминатият път след това ще бъде: S_1 – недостигане на точното ниво, S_0 – точно да нивото на етаж, S_2 – подминаване на нивото на етаж.

Съгласно определението за точно спиране, същото ще се измерва с:

$$\Delta S = \frac{S_2 - S_1}{2}$$

Трябва да се намери при какви условия ще се получи ΔS_{max} , което за всеки случай да бъде по-малко от $\Delta S_{доп}$.

След задействане на апарата А същият ще подаде импулс в схемата за управление за изключване на електрическия двигател и задействане на механичната спирачка. Сумата от собствените времена на изключване на всички електрически апарати, участващи последователно до задействане на механичната спирачка, се отбелязва с t_a . През това време асансьорът ще се движи със скорост, която е имал в началото при задействане на апарата А – $v_{нач}$. Изминатият път ще бъде:

$$S' = v_{нач} \cdot t_a$$

След времето t_a започва спирането с помощта на механичната спирачка. Кинетичната енергия, запасена в движещите се маси m , [kg], ще се изразходва за преодоляване на съпротивителните сили от триенето в спирачката $F_{сп}$ и тези сили от статичния товар $F_{ст}$, при което ще се измине спирачен път S'' .

$$\frac{m \cdot v_{нач}^2}{2} = (F_{сп} \pm F_{ст}) \cdot S''$$

Статичната сила $F_{ст}$ има различен знак и големина, в зависимост от товара и етаж. Тогава се получава:

$$S'' = \frac{m \cdot v_{нач}^2}{2 \cdot (F_{сп} \pm F_{ст})}$$

Изминатият път от асансьора от задействане на апарата А до пълно спиране ще бъде:

$$S = S' + S'' = v_{нач} \cdot t_a + \frac{m \cdot v_{нач}^2}{2 \cdot F_{дин}}$$

където:

$$F_{дин} = F_{сп} \pm F_{ст}$$

Изминатият спирачен път S'' може да се разгледа като една случайна величина, защото зависи от няколко други величини, които също случайно се изменят.

Ако се обозначи с индекс 0 средната стойност на всяка величина и с Δ отклонението ѝ около средната стойност ще се получи:

$$v_{нач} = v_0 \pm \Delta v \quad t_a = t_0 \pm \Delta t \quad m = m_0 \pm \Delta m \quad F_{дин} = F_0 \pm \Delta F$$

Спирачните пътища S_1 (най-къс) и S_2 (най-дълъг) ще бъдат:

$$S_1 = S_{min} = (v_0 - \Delta v) \cdot (t_0 - \Delta t) + \frac{(m_0 - \Delta m) \cdot (v_0 - \Delta v)^2}{2 \cdot (F_0 + \Delta F)}$$

$$S_2 = S_{max} = (v_0 + \Delta v) \cdot (t_0 + \Delta t) + \frac{(m_0 + \Delta m) \cdot (v_0 + \Delta v)^2}{2 \cdot (F_0 - \Delta F)}$$

$$\Delta S_{max} = \frac{S_{max} - S_{min}}{2}$$

След преобразуване и пренебрегване на членовете от порядък $\Delta \cdot \Delta$ и Δ^2 се получава:

$$\Delta S_{max} = v_0 \cdot t_0 \left(\frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta t}{t_0} \right) + \frac{m_0 \cdot v_0^2}{2 \cdot F_0} \left(2 \cdot \frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta m}{m_0} + \frac{\Delta F}{F_0} \right)$$

Най-силно въздействие за точно спиране може да се окаже от електрообзавеждането върху v_0 и $\frac{\Delta v}{v_0}$. Както се вижда, тези величини имат голямо значение за намаляване на ΔS_{max} . Ако системата на електрозадвижване позволява, преди да сме достигнали апарата А, да сме намалили скоростта до желана от нас скорост $v_{нач} = v_0$, може ΔS_{max} да бъде в допустими граници. Величината $\frac{\Delta v}{v_0}$ също характеризира електрозадвижването – тя ще има толкова по-малка стойност, колкото механичната характеристика е по-твърда. Това, както е известно, е трудно да се постигне при малки скорости.

След като е зададено $\Delta S_{доп}$ и определим v_0 , тогава минималният диапазон за регулиране на скоростта, който ще се изисква от електрообзавеждането ще бъде:

$$D_{min} = \frac{v}{v_0}$$

При избиране на скорост v_0 трябва чрез система за електрозадвижване да се потърси подходяща стойност за $\frac{\Delta v}{v_0}$ (наклона на механичната характеристика), която заедно с v_0 да осигури $\Delta S_{доп}$.

II. Типове електрически двигатели за електрозадвижване при асансьорите

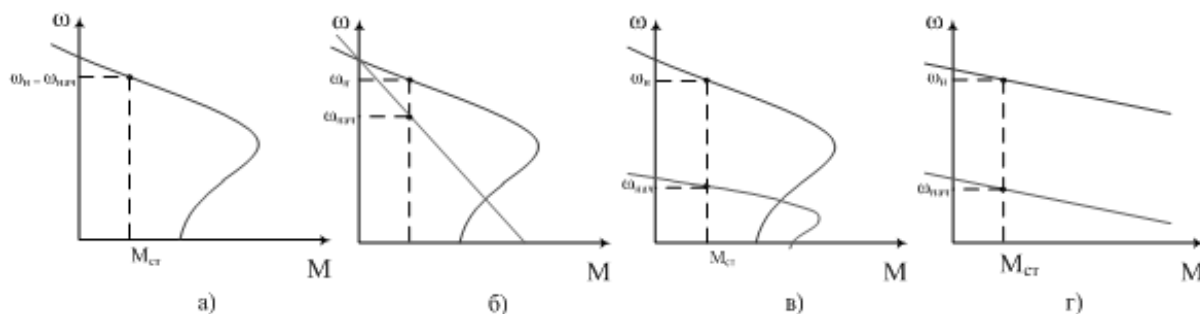
Най-често използваните типове електрически двигатели за електрозадвижване при асансьорите са следните:

1. *Едноскоростен АДНСР (асинхронен двигател с накъсосъединен ротор)* – механична характеристика на фиг. 17.2 а)

За да отговарят на изискванията за точно спиране асансьорите трябва да имат номинална скорост до 0,7 m/s. Такива пътнически асансьори се използват за нискоетажни сгради, като точността на спиране е ± 40 mm. При товарните асансьори също се използват такива електрически двигатели, но до скорост 0,1 m/s, с цел да се осигури точност на спиране.

2. *Едноскоростни АДНР (АД с навит ротор)* – механична характеристика на фиг. 17.2 б).

Действително може да се осигури $\omega_{\text{нач}} < \omega_{\text{н}}$, но твърдостта на характеристиката намалява, затова е подходящ също за бавноходни асансьори. Осигурява плавност при пускане, но не предлага големи предимства спрямо схемата от фиг. 17.2 а) и затова не се използва.



Фиг. 17.2. Механични характеристики на типове двигатели

3. Двускоростни АДНСП – механична характеристика на фиг. 17.2 в).

Високата скорост $\omega_{\text{н}}$ се използва при пускане и движение с установена скорост на движение между етажите. Ниската скорост $\omega_{\text{нач}}$ – за забавяне и точно спиране. Номиналната скорост на асансьорите при тази система на електрозадвижване достига $V_{\text{н}} = 1 \text{ m/s}$, а началната при спирането: $V_{\text{нач}} = 0,2 \div 0,3 \text{ m/s}$. Така се осигурява необходимата точност при спиране. Използването на тази система за скорости над 1 m/s не е подходящо, защото времето за забавяне от $V_{\text{н}}$ до $V_{\text{нач}}$ се увеличава и в крайна сметка увеличаването на производителността е незначително.

Обикновено намотката за висока скорост на тези електрически двигатели се оразмерява за ПВ = 50%, а за ниската: ПВ = 10%.

4. ПТД (постояннотокови двигатели) – механична характеристика на фиг. 17.2 г).

Използват се за скорости над 1 m/s . Осигуряват максимален диапазон на регулиране на скоростта 10:1, а при специални схеми до 30:1 и повече.

Имат скъпа система, но всички изисквания за точност и плавност могат да бъдат задоволени.

Работата на системата за електрозадвижване трябва да се оценява не само по достигнатите колкото се може по-високи скорост $v_{\text{н}}$ и ускорение $a_{\text{доп}}$, а още и от плавността на движение на асансьорите. Плавността на движение се характеризира със скоростта на нарастване на ускорението при спускане и спиране. Тази скорост се определя с втората производна на скоростта – т.нар. „дърпане - ρ “ чрез следния израз:

$$\rho = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3s}{dt^3}$$

Тема 18. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРОКАРИ

I. Общи сведения

Електрокарите са подемно-транспортни съоръжения, предназначени за вътрешноцехов, междуцехов, вътрешноскладов и селищен транспорт. Една част от електрокарите повдигат, пренасят и спускат товари, а друга – само пренасят. Поради сравнително малките им размери, маневреност и опростено управление те са особено полезни за големи потоци товари в ограничени по размери работни площадки. У нас се произвеждат електрокари в различни модификации за наши нужди и главно за износ.



Електросамосвали – 2.0 т Електрокари българско производство Електровлекач 1.25 – 2.5 kN

Фиг. 18.1. Общ вид на електрокари

II. Класификация на електрокари

С оглед на правилния избор на електрокари за определени нужди се използват следните класификации:

1. Според вида на товаро-разтоварните операции:

- Платформени;
- Нископовдигачи;
- Високоповдигачи;
- Влекачи;
- Универсални и др.

2. Според вида на задвижването:

Еднодвигателно и двудвигателно; вдигането на товари става по хидравличен път, като електрически двигател с помпа поддържа налягането в хидравличната система.

3. Според електрическата схема:

- Контролерна с ръчно управление;
- Контактен командоконтролер;
- Импулсно регулиране на скоростта.

III. Показатели на електрокарите

1. Товароносимост – за платформени електрокари варира от 4.9 до 31.4 kN (3 тона).

2. Товароподемност – за универсален високоповдигач достига до 49 kN (4 тона).

3. Скорост: без товар – 22.5 km/h, с товар – до 18 km/h.

IV. Електрообзавеждане на електрокари

Електрообзавеждането на електрокарите обхваща: електрически двигатели, акумулаторна батерия, контролери, електрическо табло,

резистори, осветителна уредба, сигнална уредба, контактори и други електрически апарати.

1. Електрически двигатели

Електрическите двигатели за електрокари имат специална конструкция. За електрокари у нас се произвеждат електрически двигатели за постоянен ток. За задвижването се използват електрически тягови двигатели (ТД) с последователно възбуждане – те са основни. За помпени системи за хидравликата, а също и серво управлението се използва друга група – спомагателни електрически двигатели, обикновено със смесено възбуждане.

Съгласно стандартите за електрическите тягови двигатели се допуска претоварване за две минути с ток, два пъти по-голям от номиналния, а при наклон се допуска за половин минута три пъти номиналния ток.

2. Акумулаторна батерия (АБ)

Поради това, че източник за захранване при електрокари е акумулаторната батерия, ограниченото място и капацитетът и водят до ниски напрежения и големи токове, а това означава ниски скорости за електрическите двигатели и влошено охлаждане. Стандартните напрежения при електрокари са: 24, 40 и 80 V, а за електрическите двигатели съответно: 33, 38 и 75 V. От опит е установено, че по-големи токове от 250 A не са целесъобразни за използване.

На табелката на АБ трябва да има следните означения: заводска марка, тип и пореден номер, напрежение, капацитет, големина на зареждащия ток и плътност на електролита.

Най-често използваните напрежения са 40 и 80 V, а капацитетът е от 160 до 400 Ah. Използват се киселинни АБ. Електродите са от олово и оловен окис, а разтворът е воден разтвор на сярна киселина. АБ се зареждат за 14 часа с ток $1/10$ от капацитета в Ah. При зареждане се използват два начина: при постоянен ток и при постоянно напрежение.

3. Режим на работа

Електрическите ТД са предвидени да работят в кратковременен режим на работа (S2). Спомагателните електрически двигатели са предвидени за периодичен режим (S3) с ПВ% – 5%, 10%, 15%, 25% и 40%.

4. Мощност и честота на въртене.

При платформени електрокари се използват електрически ТД с мощност до 7,5 kW и честота на въртене до 1000 min^{-1} .

V. Начини за регулиране на скоростта на движение

1. Чрез последователно свързани към котвата на електрическия двигател резистори, което се използва главно при пускане, защото е свързано със загуба на енергия.

2. Чрез разделяне (секционирание) на акумулаторните батерии на части, които се свързват последователно или паралелно.

3. Чрез възбудителните намотки, които се разделят на две половини и се свързват последователно или паралелно.

4. При наличие на два еднакви електрически ТД – чрез включването им към източника за захранване последователно или паралелно.

VI. Друго електрообзавеждане – електрическо табло, контролери (най-често крачни), осветителна и сигнална уредба, контактори и релета.

Тема 19. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ И ИЗБОР НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ЗА ЦЕНТРОБЕЖНИ ВЕНТИЛАТОРИ

I. Общи сведения

Вентилаторите, въздуходувките и компресорите са генератори за съгъстени газове, най-често за съгъстен въздух. Разделянето им на горните групи е в зависимост от налягането на изхода и от предназначението им.

1. Вентилатори

Създават разлика в налягането на изхода и входа от 0,001 до 0,010 МРа (0,01 ÷ 0,10 атмосфери). Предназначени са за вентилация на производствени помещения, за отоплителни системи (климатични инсталации), за охлаждане на двигатели и токоизправители, за изсмукване на димни газове и др. По конструкция вентилаторите се делят на центробежни и осеви. Вентилаторите са бавноходни и тежки механизми.

2. Въздуходувки

Създават разлика в налягането от 0,11 до 0,40 МРа (от 1,1 до 4,0 атмосфери). Предназначени са за процесите на горене и топене на металите, а също за охлаждане на работни повърхности и агрегати, пневмопоща и др. По конструкция приличат на центробежните вентилатори.

3. Компресори

Създават разлика в налягането на изхода и входа над 0,4 МРа. Използват се при технологични процеси, задвижване с въздух, пневмотранспорт и др. По принципа на работа и конструкцията компресорите се разделят на три групи:

- Бутални;
- Ротационни;
- Центробежни (турбокомпресори).

1) Бутални компресори

Те са бавноходни, обемисти и тежки. Буталото се движи в цилиндър и извършва възвратно-постъпателно движение. Честотата на въртене на работния им вал достига 750 min^{-1} . Подаването на въздуха е неравномерно и е възможно в него да остават частици от смазващото масло. За намаляване на колебанията и налягането между компресора и потребителите се монтира въздухосборник (ресивер). Буталните компресори могат да създадат най-високите налягания – до $100 \div 160 \text{ МРа}$. Това се постига чрез няколко степени на цилиндри и бутала. С една степен се постига налягане 0,8 МРа, с две – 5 МРа.

2) Ротационни компресори

Сгъстят газовете чрез въртящи се тела с различна форма, пластини и др. Създават налягане до 1,5 МРа. Имат по-добър к.п.д. Честотата на въртене на работния им вал достига 3000 min^{-1} .

3) Центробежни (турбокомпресори)

Имат работни колела, подобни на тези на въздуходувките. Могат да имат една и повече степени. Създават налягане до 0,6 МПа. Честотата на въртене на работния вал достига 12000 min^{-1} . Те имат най-висока производителност от всички видове компресори.

Мощността на електрическите двигатели за вентилаторите, въздуходувките и компресорите се колебае от няколко десетки вата до няколко хиляди киловата. Обикновено те се пускат без товар и условията за пускане са леки. По изключение при някои конструкции бутални компресори пусковите условия са по-тежки – с наличие на известен товар. Режимът на работа е непрекъснат (S1), пусканията – редки.

Регулирането на производителността на генераторите за сгъстени газове може да се регулира по следния начин:

- чрез изменение на ъгловата скорост на електрическия двигател;
- с помощта на дроселиране (свързано със загуби);
- с изменение на наклона на лопатките или направляващия апарат на генератора (беззагубно, но конструктивно сложно).

Поради това, че за повечето вентилатори, въздуходувки и компресори не се изисква регулиране на ъгловата скорост, се използват асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор, а когато мощността е над $200 \div 300 \text{ kW}$ и синхронни двигатели. В някои случаи използването на синхронни двигатели технически и икономически е по-изгодно в сравнение с асинхронните. Например при бутални компресори, които създават на вала на електрическия двигател периодично изменящ се съпротивителен момент, използването на бавноходни синхронни двигатели с голям махов момент и претоварваща способност е много подходящо. В редките случаи, когато се налага регулиране на ъгловата скорост и оттам – на производителността, се използват асинхронни двигатели с навит ротор, а също така задвижване с дросели с насищане или с асинхронен хлъзгащ съединител.

Електрообзавеждането на вентилаторите, въздуходувките и компресорите се монтира при самите механизми или в специално помещение. Управлението може да бъде местно, автоматично или от диспечерски пункт.

II. Избиране на мощността на двигатели за центробежни вентилатори

Изходни данни винаги са: производителността $Q \text{ [m}^3/\text{s]}$ и налягането на изхода при известно налягане на входа. Най-общо изборът става по следната зависимост:

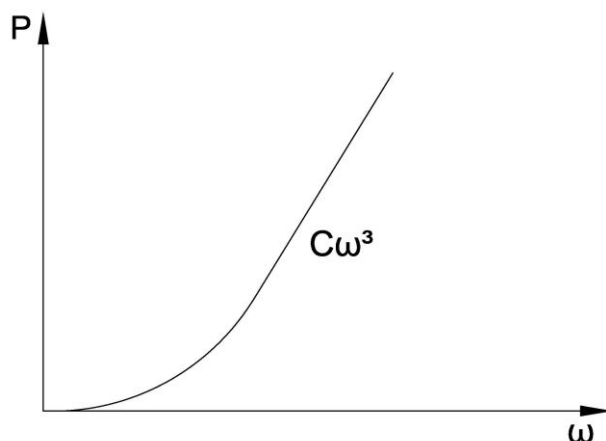
$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пр}}} = C \cdot \omega^3$$

където:

- Q – производителност (дебит);
- H – налягане;

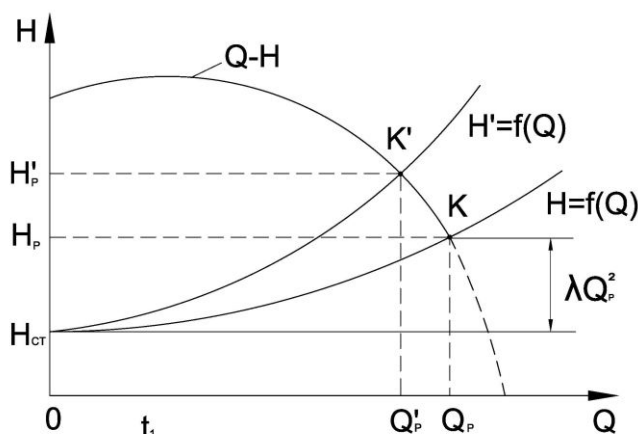
- η_B – к.п.д. на вентилатора;
- $\eta_{пр}$ – к.п.д. на предавката.

Зависимостта на $P = f(\omega)$, представлява зависимостта на мощността на вала на центробежен вентилатор от ъгловата му скорост – фиг. 19.1.



Фиг. 19.1. Зависимост на мощността на вала на центробежен вентилатор от ъгловата му скорост

При работата на вентилатора към тръбопроводната система работната точка се определя от пресичането на двете характеристики $Q - H$ (фиг. 19.2).



Фиг. 19.2. Работна точка на вентилатор към тръбопроводна система

Работната точка K се получава от пресичането на $Q-H$ с характеристиката на тръбопроводната система – $H = f(Q)$. Тази зависимост е следната:

$$H = H_{ст} + \lambda Q^2$$

където:

$H_{ст}$ – статично налягане;

λ – коефициент, зависещ от сечението и дължината на тръбопровода.

При по-големи съпротивления на тръбопроводната система вторият член на уравнението ще има по-голяма стойност и работната точка ще бъде K' (фиг. 19.2).

При дадени работни условия необходимата мощност на вала на вентилатора ще бъде:

$$P = \frac{Q_p \cdot H_p}{\eta_v \cdot \eta_{пр}}$$

Мощността на електрическия двигател, която трябва да се избере от каталог – $P_{изб.}$, трябва да отговаря на условието:

$$P_{изб.} \geq P$$

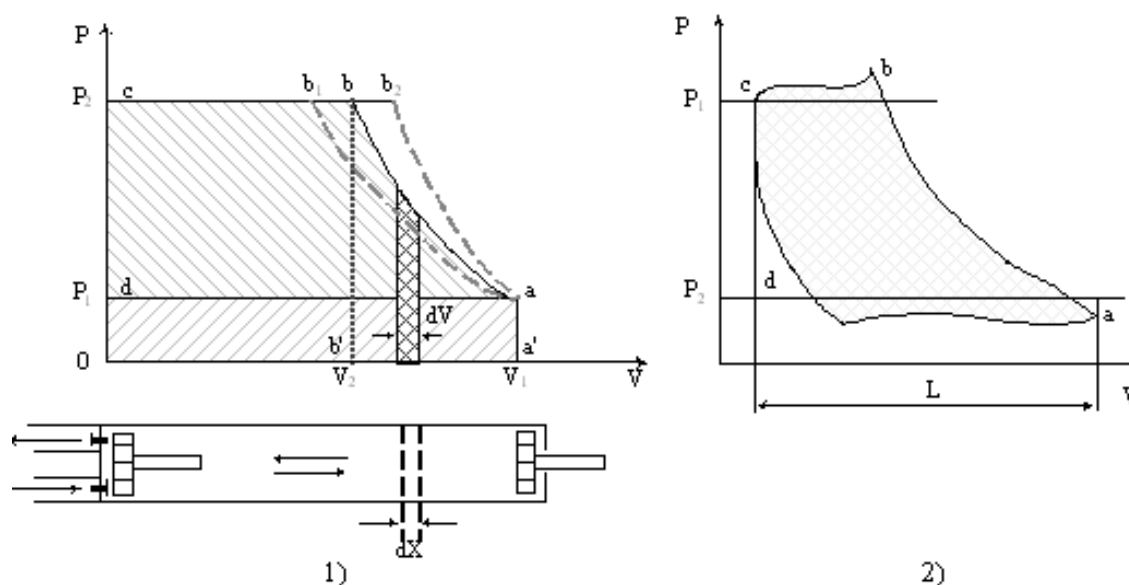
Зависимостта на $P=f(\omega)$, представлява зависимостта на мощността на вала на центробежен вентилатор от ъгловата му скорост.

Проверка на условието на пускане обикновено не се прави, защото нормално центробежните вентилатори имат малък начален момент до 20÷25% от номиналния. Когато има съмнения за осигуряване на необходимия динамичен момент при пускането, проверка се прави чрез сравняване на пусковия момент на електрическия двигател с началния съпротивителен момент на вентилатора.

Тема 20. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МОЩНОСТТА И ИЗБОР НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ЗА КОМПРЕСОРИ

I. Изчисляване на мощността и избор на електродвигатели за компресори

Бутален компресор с едно бутало е даден схематично на фиг. 20.1 – 1). Теоретичната диаграма $P = f(V)$ (зависимост между обема V и налягането p) при свиване (сгъстяване) на въздуха или газа е дадена също на фиг. 20.1 – 1). При пълен цилиндър с газ и налягане P_1 буталото със сечение S започва движение от крайното дясно положение – точка „а“ на диаграмата.



Фиг. 20.1. Диаграми за бутален компресор

Смукателният и нагнетателният клапан са затворени. При движението на буталото наляво налягането в цилиндъра е увеличава. В точка „b“ се достига необходимото налягане P_2 , нагнетателният клапан се отваря и след това при движението на буталото се поддържа същото налягане. При достигане на лявата мъртва точка нагнетателният клапан се затваря и при движението на буталото надясно се отваря смукателният. Постъпва газ отвън и налягането в цилиндъра се поддържа постоянно – P_1 .

Работата за свиване на газа за един малък участък от пътя на буталото dx ще бъде:

$$dA = pSdx = pdv$$

Тази работа се измерва със заштрихованата площ на фиг. 22.1-1). Площта $abcd$ ще представлява цялата работа, необходима за свиване на газа в буталния компресор за един двоен ход на буталото.

Кривата ab се изменя в зависимост от характера на процеса. При постоянна температура на газа процесът на свиване се нарича изотермичен, а кривата ab_1 — изотерма. При този процес $pV = const$.

Този процес е най-добър, защото извършената работа е най-малка при едно и също налягане и обем на газа (площта е най-малка). Изотермичен процес ще има, ако непрекъснато се отнема топлината, която се отделя при свиването на газа. Това става обикновено чрез водно охлаждане, но практически не може да се поддържа строго постоянна температура на газа.

При свиване без отдаване на топлина процесът се нарича адиабатен, а кривата ab_2 – адиабата. Зависимостта между обема и налягането е:

$$p \cdot v^k = \text{const}$$

където: $k = \frac{c_p}{c_v}$ – отношение на специфичния топлинен капацитет при постоянно налягане към специфичния топлинен капацитет при постоянен обем; за двуатомни газове – кислород, азот, въздух и др. $k = 1,4$.

При този процес извършената работа е най-голяма при едно и също налягане и обем.

В действителност на практика процесът на свиване на газа е междинен между изотермичен и адиабатен и се нарича политропен, а кривата ab – политропа, с уравнение:

$$p \cdot V^n = \text{const},$$

където показателят n има стойности $1 < n < k$. За въздушни компресори: $n = 1,2 \div 1,35$.

Работата, необходима за сгъстяване на 1 m^3 газ, ще бъде:

$$A_1 = \frac{A}{V_1} = \frac{np_1}{n-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Ако производителността на компресора е $Q [\text{m}^3/\text{s}]$, отчетена при налягането P_1 , а η_k и $\eta_{пр}$ са съответно к.п.д. на самия компресор и на предавката, необходимата мощност на вала на електрическия двигател за свиване на газа от този компресор ще бъде

$$P = \frac{A_1 Q}{\eta_k \cdot \eta_{пр}} = \frac{Qnp_1}{(n-1)\eta_k \cdot \eta_{пр}} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Когато за даден компресор степенният показател n на политропата не е известен или е трудно да се определи, работата за свиване на газа може да се определи като средна стойност на работата при изотермичен и адиабатен процес. Работата за свиване на 1 m^3 при изотермичен процес ще бъде

$$A_{из} = 2,3p_1 \log \frac{p_2}{p_1}$$

а при адиабатен:

$$A_{\text{ад}} = 3,5p_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,286} - 1 \right].$$

Мощността на вала на електрическия двигател ще бъде:

$$P = \frac{Q}{\eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{пр}}} \left(\frac{A_{\text{из}} + A_{\text{ад}}}{2} \right)$$

За ротационните и центробежните компресори изведените формули остават в сила, защото процесът на свиване на газа е един и същ – поли-тропен.

В действителност индикаторната диаграма на буталния компресор се различава от теоретичната – фиг. 20.1, но различията не внасят съществени изменения в крайните резултати.

При бутални компресори с един цилиндър, но с двойно действие мощността на вала ще бъде два пъти по-голяма. Когато компресорите са многоцилиндрови, трябва да се събират мощностите от отделните степени. За тези случаи е най-добре да се определя моментът на вала от всяка степен и събирането на моментите да става с отчитане на действието им по време. Понеже при буталните компресори има коляно-мотовилков механизъм, то за един двоен ход на буталото моментът на вала на компресора силно се изменя и при избора на мощността на двигателя трябва да се отчита това изменение.

Силата, действаща на буталото при различните му положения, ще бъде (фиг. 20.2):

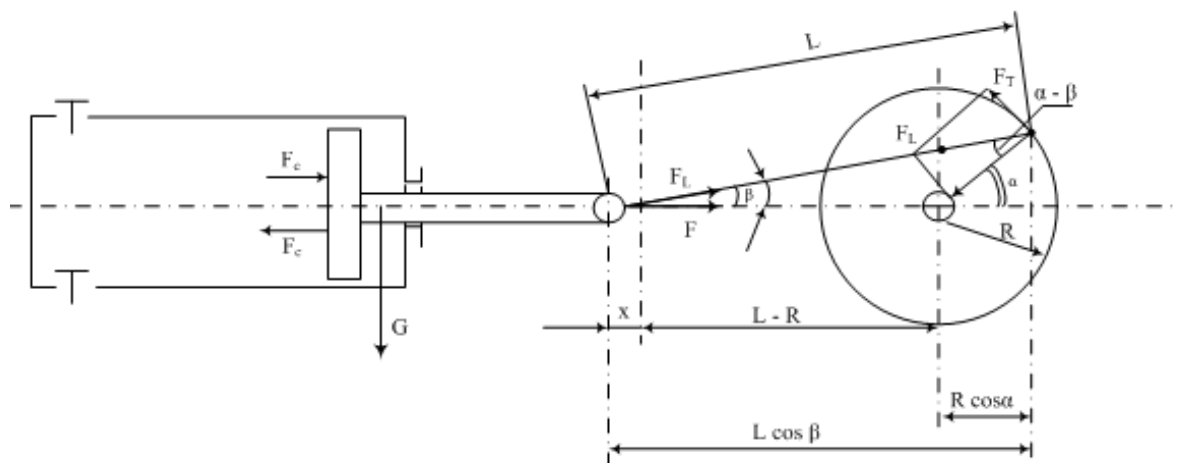
$$F = \pm[\pm S(p - p_1) + G\mu]$$

където:

- p – налягането във всеки момент от индикаторната диаграма;
- p_1 – налягането при входа на газа;
- G – теглото на буталото с буталния прът;
- μ – коефициент на триене на буталото и буталния прът.

Знакът плюс отговаря на свиване, а минус – на засмукване на газа. Знаците пред средните скоби отчитат изменението на посоката на силата F_c , а знаците вътре – необходимостта от алгебрично събиране на силите, обусловени от разликата в налягането от двете страни на буталото и триенето.

Инерционният момент е променлив и зависи от положението на буталото. Ако се излезе от общото уравнение на движението с променлив инерционен момент, за да могат да се правят изчисления, трябва да се намери законът за изменение на инерционния (или маховия) момент в зависимост от ъгъла на завъртане на коляновия вал. По-просто е обаче да се изчислят силите, действащи на буталото, с отчитане налягането на газа в компресора и динамичните сили за ускоряване или забавяне на буталото.



Фиг. 20.2. Действащи сили при бутален компресор

На фиг. 20.2 е дадена схемата на едностепенен бутален компресор с едностранно действие. Общата сила, която трябва да се приложи на буталния прът, ще бъде:

$$F = F_c + F_{\text{дин}}$$

Големината на динамичната сила $F_{\text{дин}}$ може да се намери чрез масата m на буталото и буталния прът и ускорението на буталото a :

$$F_{\text{дин}} = m \cdot a.$$

Ускорението е:

$$a = \frac{d^2 \cdot m}{dt^2}$$

Пътят на буталото е означен като x .

Динамичната сила ще бъде:

$$F_{\text{дин}} = m \cdot a = \frac{G}{g} R \omega^2 \left(\cos \omega t + \frac{R}{L} \cos 2\omega t \right)$$

Тази сила може да се пресметне за всяко положение на колянвия вал, за всеки ъгъл $\alpha = \omega t$. Понеже силата F_c може да се изчисли също за всяко положение на колянвия вал, общата сила F се определя по последното уравнение.

Понеже $\frac{R}{L}$ е много по-малко от единица, може да се приеме, че:

$$1 - \frac{R^2}{2L^2} \sin^2 \omega t \approx 1.$$

$$F_T \approx F \left(1 - \frac{R}{L} \cos \omega t \right) \sin \omega t$$

и моментът на колянвия вал ще бъде:

$$M = \frac{F_T \cdot R}{\eta_k}$$

При тези изчисления не се отчита масата на мотовилката. При малък радиус R в сравнение с дължината на мотовилката L проекцията на мотовилката по оста на движение на буталото малко ще се различава от L . Тогава масата на мотовилката ще съберем с масата на буталото и буталния прът, като под означението m и G ще се разбира общата маса и общото тегло на буталото, буталния прът и мотовилката.

Кривата на момента за всяко положение на колянвия вал можем да построим, като ползваме уравненията.

Когато компресорът е едноцилиндров, за изглаждане на колебанията на момента на колянвия вал обикновено се използва маховик с махов момент GD^2_{Max} .

За да изберем мощността на електрическия двигател, трябва да се постъпи по следния начин. Като използваме кривата на момента в зависимост от ъгъла $\alpha - M = f(\alpha)$, можем да намерим средната стойност на момента M_{cp} и привеждайки го към вала на електрическия двигател с предавателното число i с отчитане на загубите в предавката, ще получим:

$$M_{cp}' = \frac{M_{cp}}{i \cdot \eta_{пр}}$$

С този момент можем ориентировъчно да изберем електрически двигател с най-близкия по каталог по-голям момент. За този електрически двигател ще отчетем GD^2_o и общият приведен махов момент ще бъде:

$$GD^2_{пр} = GD^2_d + \frac{GD^2_{max}}{i^2}$$

Тема 21. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ, ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МОЩНОСТТА И ИЗБОР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОМПИ

I. Общи сведения

Единичните помпи, комплектувани със задвижки и други спомагателни апарати, представляват помпени агрегати, които се монтират по няколко броя, свързват се с общи колектори и тръбопроводи в помпени станции.

В индустрията помпените станции са разделени за производствено-техническо, противопожарно и за питейно водоснабдяване. Освен за прехвърляне и пренасяне на чисти води помпите и помпените агрегати се използват и за мръсни води – канализационни, оборотни, дренажни и др. Използват се и за транспорт на други течности – например мазут в енергийните стопанства, течни химикали и др.

Помпите биват:

- центробежни;
- бутални.

Най-разпространени са центробежните помпи. Имат спирален корпус и работно колело с лопатки. Течността се засмуква в центъра на работното колело, изхвърля се от лопатките по периферията на корпуса и след това постъпва в тръбопровода. Създава се непрекъснато равномерно движение на течността. Поради особеностите на конструкцията си центробежните помпи не могат да създават значителен вакуум при пускане и затова е добре, ако се монтират на ниво, по-ниско от нивото на засмукваната течност, или на по-високо ниво, но със специални устройства да се заливат преди пускане. Те са бързоходни и с малки размери.

Буталните помпи се използват за гъсти течности, замърсени води и др. Имат предимство пред центробежните, че засмукват вода от височина 5÷6 m. При буталните помпи се създават хидравлични удари както в самата помпа, така и при напорния тръбопровод и има неравномерно движение на течност. Буталните помпи са бавноходни и имат основен недостатък конструктивна сложност поради наличие на възвратно-постъпателно движение.

II. Избиране на мощността на електрическите двигатели за помпи

1. Центробежни помпи

Мощността на вала на центробежна помпа се определя от изрази:

$$P = \frac{Q(H_c + H_d) \cdot \gamma \cdot g}{\eta_p \eta_{пр}} \cdot 10^{-3}$$

където:

- Q – производителност на помпата, m³/s;
- H_c – общ статичен напор на помпата, m:

$$H_c = H_r + (p_2 - p_1) \cdot \gamma \cdot g$$

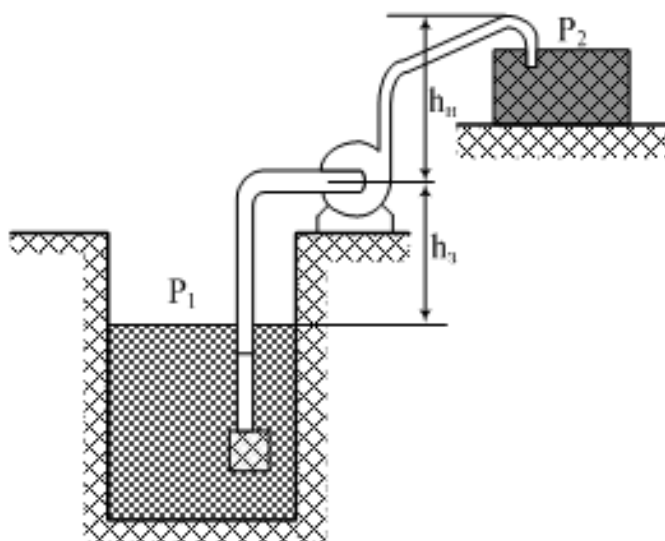
- H_r – геодезичен напор, равен на разликата на височините на нагнетяване и засмукване или равен на сумата от височината на засмукване h_z и височината на нагнетяване h_n , отнесени към центъра на работното колело (фиг. 21.1):

$$H_r = h_z + h_n$$

- p_1 и p_2 – са съответно наляганията на горният и долният резервоар, Pa;
- γ – специфична плътност на течността, kg/m^3 ;
- g – земното ускорение, $9,81 \text{ m/s}^2$;
- H_d – динамичен напор, отчитащ загубите в тръбопроводите, m:

$$H_d = \lambda Q^2$$

- λ – коефициент, зависещ от сечението на тръбите, качеството им на обработка, кривините на участъците им, има характер на хидродинамичното им съпротивление;
- $\eta_p, \eta_{пр}$ – к.п.д. на помпата и на предавката.

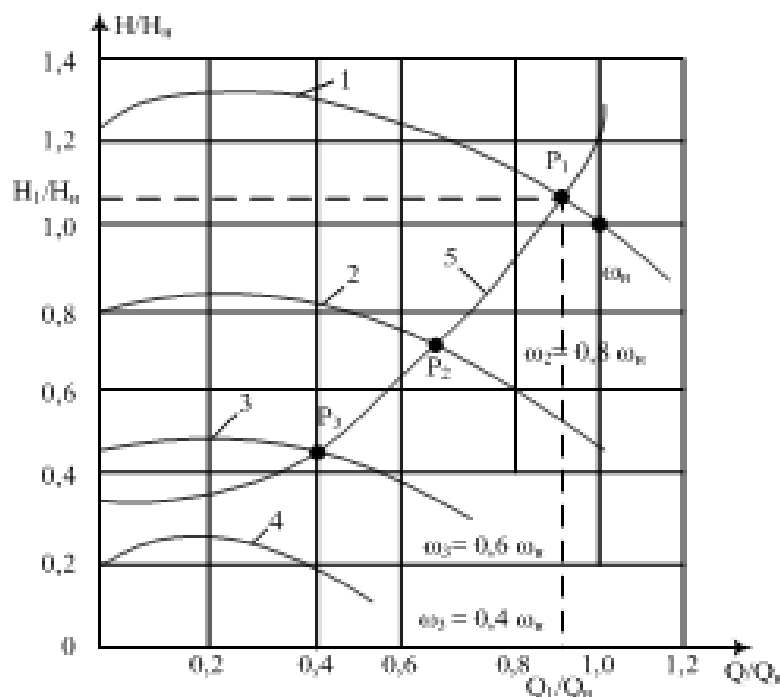


Фиг. 21.1. Височини на засмукване и нагнетяване

Основната характеристика на помпите е зависимостта между производителността Q и напора H , дадени на фиг. 21.2. Тази зависимост е дадена в относителни единици.

Обикновено се дава кривата Q във функция от H при номинална скорост ω_n (крива 1). За построяване на кривите 2, 3 и 4 при скорости съответно $0,8\omega_n$; $0,6\omega_n$; $0,4\omega_n$, ако не са дадени от завода-производител, могат да се използват следните зависимости:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \qquad \frac{H_1}{H_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}$$



Фиг. 21.2. Зависимост между производителността Q и напора H

На фиг. 21.2 е нанесена характеристиката на тръбопровода 5, пресечните точки на която с характеристиката на помпата при различна скорост ще бъдат работни точки на помпата – P_1 , P_2 и P_3 .

При ъглова скорост $\omega_4 = 0,4\omega_n$ характеристиките не се пресичат, следователно помпата не може да създаде напор при тази тръбопроводна система.

Номинален режим на помпата се счита този, при който има максимален к.п.д. – $\eta_{\text{пн}}$ (при Q_n и H_n). Много рядко работните точки отговарят на Q_n и H_n , следователно к.п.д. $\eta_{\text{п}}$ ще бъде по-малък от $\eta_{\text{пн}}$.

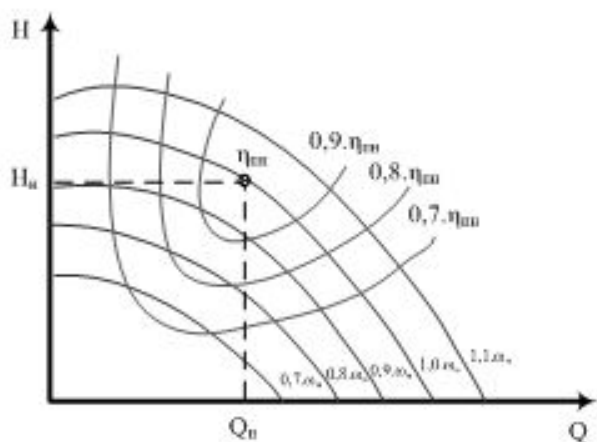
На фиг. 21.3 са дадени криви за определяне на $\eta_{\text{п}}$ при различни ълови скорости в части от $\eta_{\text{пн}} - 0,9\eta_{\text{пн}}$; $0,8\eta_{\text{пн}}$ и т.н.

Определяйки работната точка чрез интерполация намираме $\eta_{\text{п}}$, която стойност заменяме във формулата за мощността.

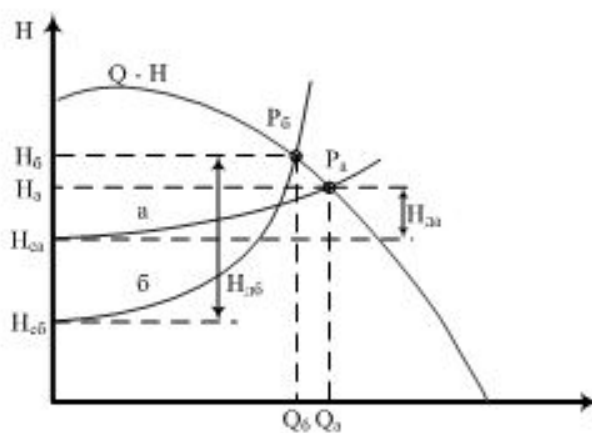
Електрическите двигатели за центробежните помпи се избират за непрекъснат режим на работа S1, защото пусканията им са редки.

В зависимост от дължината и сечението на тръбопроводите, наличието на местни съпротивления при движението на течността и разликата във височините и т.н. са възможни различни съотношения между статичния напор H_c и динамичния напор H_d .

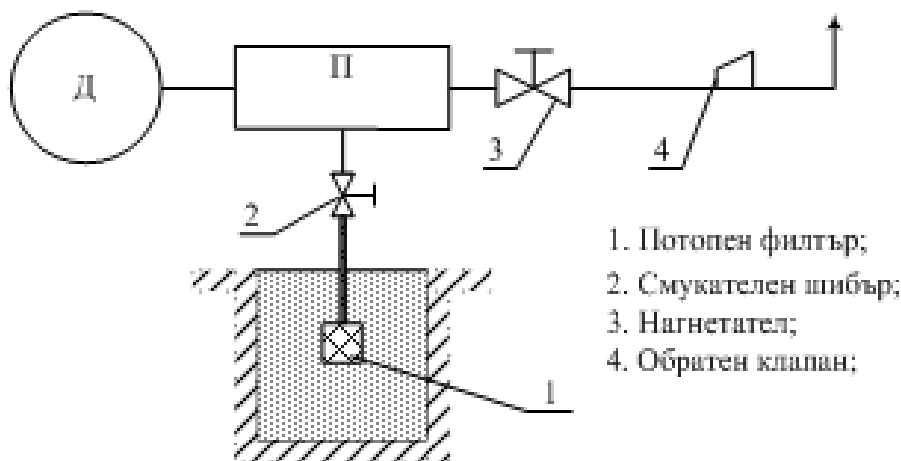
На фиг. 21.4 са показани две характеристики на тръбопроводна система – крива (а) при преобладаващ статичен напор и крива (б) при преобладаващ динамичен напор.



Фиг. 21.3



Фиг. 21.4



Фиг. 21.5. Помпен агрегат с центробежна помпа

На фиг. 21.5 е даден помпен агрегат с центробежна помпа. Най-благоприятно е центробежните помпи да се пускат при затворен нагнетателен шибър, т.к. тогава двигателят е най-натоварен.

2. Бутални помпи

Мощността на тези помпи се определя с израз, подобен на този при центробежните помпи:

$$P = \frac{1.1 \cdot Q (H_c + H_d) \cdot \gamma \cdot g}{\eta_p \eta_{пр}} \cdot 10^{-3}, [kW]$$

Увеличението с 10% се прави за известно осигуряване на неотчетени (резервни) съпротивителни сили.

Производителността Q в $[m^3/s]$ се определя от следния израз:

$$Q = 15 \cdot \pi \cdot z \cdot i \cdot k \cdot l \cdot n \cdot (D^2 - d^2)$$

където:

- z – брой на цилиндрите;
- i – 1 или 2 – бутала с едностранно или двустранно действие;
- k – коефициент, отчитащ преждевременното отваряне или затваряне на клапаните; $k < 1$ (обикновено 0,8);
- l – ход на буталата, m;
- n – честота на въртене на колянвия вал, min^{-1} ;
- D – диаметър на буталата, m;
- d – диаметър на буталният прът, m.

Зависимостта между мощността на вала на буталните помпи и ъгловата скорост ω се различава от тази при центробежните помпи.

При центробежните помпи:

$$P = c \cdot \omega^{(p+1)} \quad M = c \cdot \omega^p \quad p = 2,5 \div 6$$

Буталната помпа нормално работи към тръбопроводна система, където се поддържа постоянен напор $H = \text{const}$. Очевидно буталото при всеки ход трябва да преодолява постоянна средна сила, независимо от честотата на въртене n . Средната стойност на мощността ще бъде: $P = C \cdot H \cdot Q$

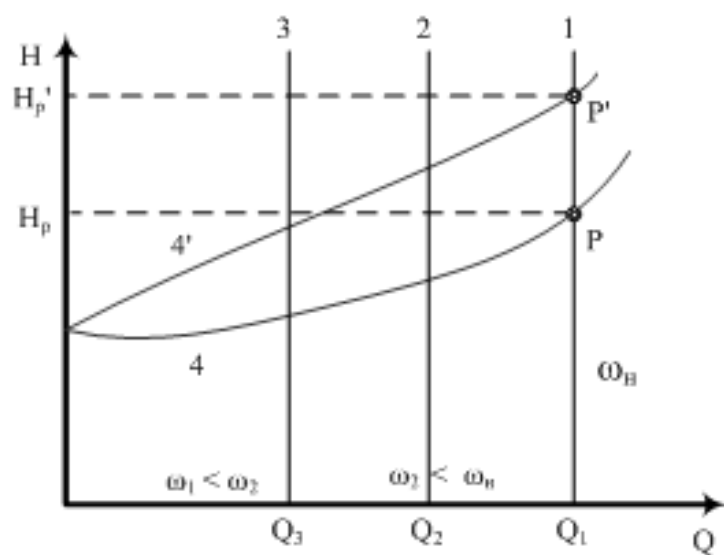
Понеже $H = \text{const}$., то: $P = C_1$, $Q = C_2 \cdot \omega$.

$$M = \frac{P}{\omega} = C_2 = \text{const}$$

Следователно, буталната помпа работи при постоянен съпротивителен момент. Характеристиките на буталните помпи също много се различават от тези на центробежните.

Производителността Q зависи само от ъгловата скорост ω на помпата (фиг. 21.6). Работната точка P , при скорост ω_n ще се получи от пресичането на $Q_n = k\omega_n$ (вертикалната права линия 1) с характеристика 4 на тръбопроводната система. Напорът ще бъде H_p , и оттам ще се получи мощността.

Ако притворим нагнетателния шибър след помпата, съпротивлението на тръбопроводната система ще се увеличи и характеристиката ще се представи от крива 4'. Напорът ще се увеличи на $H_p' > H_p$ и ще бъде необходима по-голяма мощност. При пълно затваряне на нагнетателния шибър теоретически следва да се получи безкрайно голям напор и спукване на корпуса на помпата, шибъра или тръбопровода. По този причина буталните помпи се пускат при отворен шибър (ако има такъв). Електрическите двигатели трябва да се проверяват по условието на пусков момент и да се избират с повишен пусков момент. Режимът на работа е непрекъснат S1 с редки пускания.



Фиг. 21.6. Производителност в зависимост от ъгловата скорост на центробежна помпа

Тема 22. РЕГУЛИРАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ПОМПЕНИ АГРЕГАТИ

I. Общи сведения

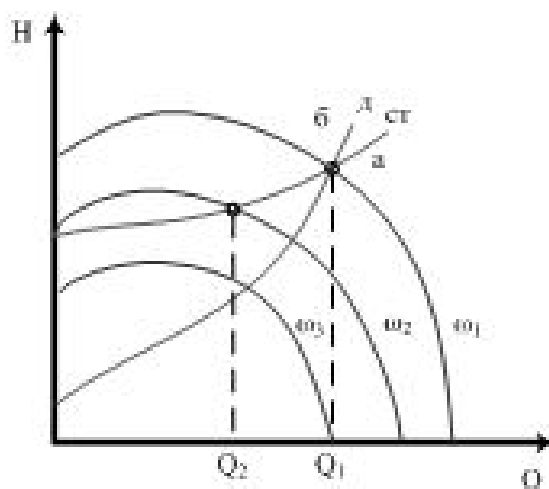
При част от помпените агрегати, а също за голяма част от помпените станции консумацията на течност е променлива. Понякога тези агрегати и станции имат големи инсталирани мощности и въпросът за загубата на електрическа енергия при регулиране на производителността има съществено значение. В общия баланс на разходите за една помпена станция частта на електрическа енергия достига и надхвърля 50%. Затова при разглеждането на различните начини за регулиране на производителността следва да се прави оценка преди всичко на загубите на електрическа енергия. Центробежните помпи се използват по-често, затова по-долу се разглежда регулирането при тях.

II. Регулиране на производителността на помпените агрегати

1. Чрез изменение на честотата на въртене на двигателите

На фиг. 22.1 са дадени характеристиките на центробежна помпа при различни честоти на въртене и два вида тръбопроводни системи:

- с преобладаващ статичен напор;
- с преобладаващ динамичен напор.



Фиг. 22.1. Характеристики на центробежна помпа

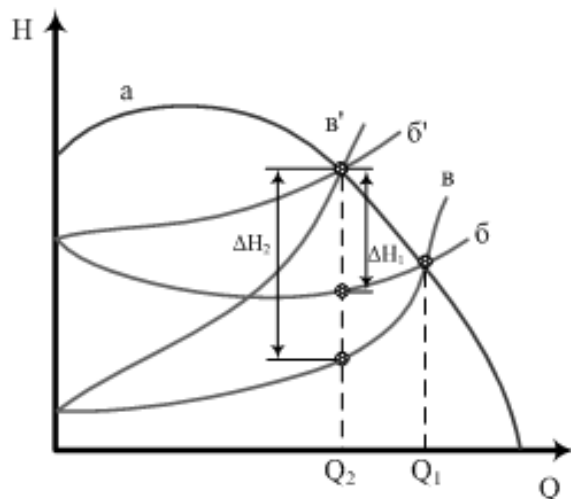
Когато преобладава статичен напор е достатъчно да се намали ъгловата скорост от ω_1 до ω_2 , за да се регулира производителността – от Q_1 до Q_2 . Ако преобладава динамичен напор, за същото изменение на производителността трябва да се намали ъгловата скорост – от ω_1 до ω_3 и повече. Ако електрическият двигател е АДНР, загубите в ротора са $P_{\text{ел.2}} = sP_{\delta}$ и ще има по-големи загуби по втория начин на регулиране.

2. Чрез дроселиране

Дроселиране се получава като шибърът в нагнетателния тръбопровод се притваря и се увеличават местното съпротивление и динамичният напор

H_d . Загубите на електрическа енергия при този случай зависят от съпротивлението между H_c и H_d .

На фиг. 22.2 са дадени характеристиката на помпата – крива а и характеристиките на тръбопроводната система при преобладаващ статичен напор – крива б, а при преобладаващ динамичен напор – крива в.



Фиг. 22.2. Характеристики на помпа и тръбопроводна система

Когато шибърът се притвори, се появяват допълнителни динамични напори ΔH_1 и ΔH_2 и характеристиките се изменят на криви б' и в'. Очевидно е, че ΔH_1 е значително по-голям от ΔH_2 . Следователно, мощността на загубите в шибъра $\Delta P_2 = Q_2 \cdot \Delta H_2$ при преобладаващ динамичен напор е значително по-голяма от $\Delta P_1 = Q_2 \cdot \Delta H_1$ при преобладаващ статичен напор.

По-подробен анализ показва, че загубите при дроселиране са по-големи, отколкото при регулиране на честотата на въртене. За това регулирането чрез дроселиране, понеже е неикономично се използва при помпи с малка мощност – до няколко kW.

3. Чрез изменение на броя на работещите агрегати

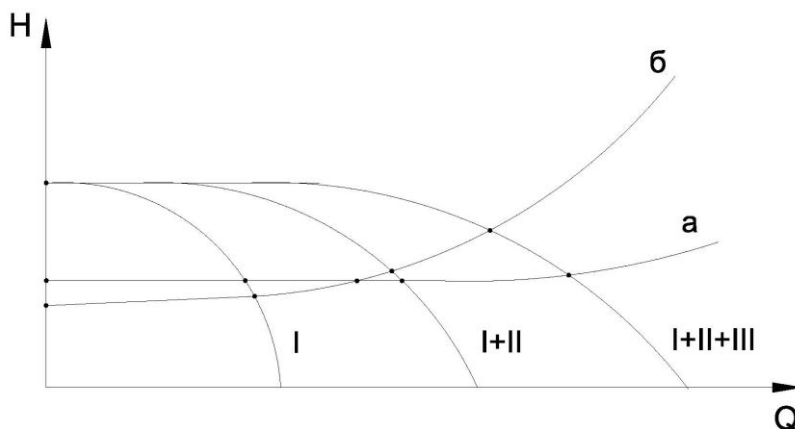
Когато консумацията на течност е голяма, но променлива, в помпена станция се монтира не един агрегат, а няколко, но с по-малка производителност. Чрез изменението на броя на включените в работа агрегати се изменя производителността.

Поради това, че всички паралелно работещи помпени агрегати са свързани към обща тръбопроводна система и налягането за всички е едно и също, общата характеристика ще бъде сбор от характеристиките на отделните агрегати по производителност – фиг. 22.3.

При преобладаващ статичен напор на тръбопроводната система (крива а) работата едновременно на два или три еднакви агрегата означава приблизителна производителност, равна два или три пъти тази на единия агрегат, което е икономически изгодно.

При преобладаващ динамичен напор (крива б), както се вижда от фигурата, с увеличението на броя на паралелно работещите агрегати производителността им малко се изменя (увеличава), при което помпите ще работят в режими, различни от номиналния, с лош к.п.д. Този случай е иконо-

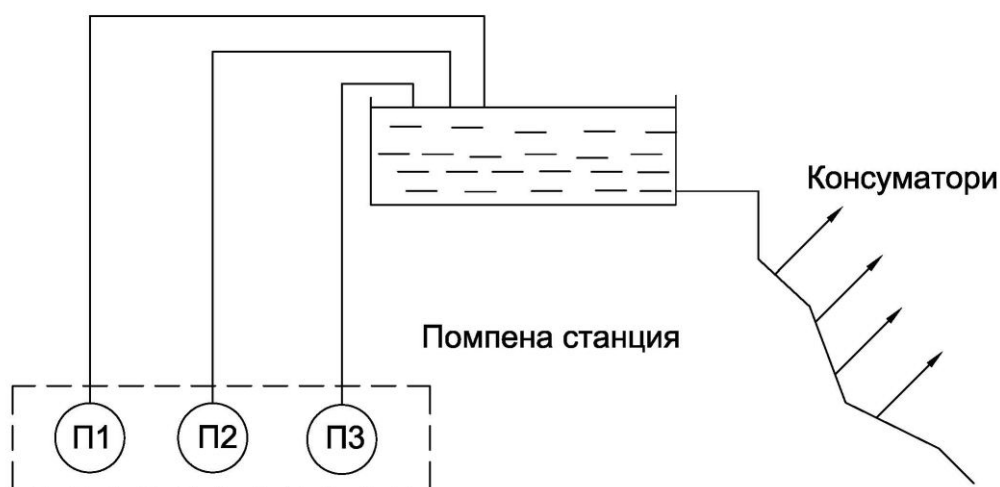
мически нецелесъобразен. При повечето помпени станции динамичният напор (H_d) не е много голям и производителността се увеличава пропорционално на броя на включените агрегати. Общата производителност може да се изчисли като сума от производителността на отделните агрегати, но коригирана с коефициент $0,80 \div 0,85$, който отчита известно понижение на общата производителност.



Фиг. 22.3. Регулиране чрез изменение на броя на работещите агрегати

4. Чрез използване на допълнителен резервоар

Резервоарът за течност се монтира на високо място, така че да създава необходимото налягане – фиг. 22.4. Помпените агрегати от помпената станция – Π_1 , Π_2 , Π_3 , периодически подават течност в резервоара, откъдето тя гравитачно изтича към предприятието. Поради това, че всеки агрегат работи на самостоятелен тръбопровод към резервоара, недостатъците на паралелната работа при преобладаващ динамичен напор се избягват. Дори при работа на агрегатите към общ тръбопровод към резервоара не може да преобладава динамичен напор и производителността им при паралелна работа ще бъде голяма. Недостатък на регулирането на производителността на този начин е наличието на резервоар, който е сравнително скъп, особено при големи системи. Затова този начин се използва по-рядко и по-специално – при малки помпени станции.



Фиг. 22.4. Регулиране с използване на допълнителен резервоар

Тема 23. ИЗБОР НА ЕЛЕМЕНТИ ЗА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ СХЕМИ

I. Общи сведения

Елементите за защита и управление на електрообзавеждането служат за пускане, реверсиране, изменение и регулиране на скоростта, спиращи режими, спиране до покой, защита от претоварване и повреди, блокировки с различно предназначение и др. Важно условие за сигурна работа на електрообзавеждането на производствените механизми е правилният избор на елементите за електрическите схеми. Изборът трябва да се прави на базата на електрическите параметри на консуматорите, режима на работа, параметрите на захранващата мрежа, изискванията за защита от ненормални режими на консуматорите и мрежата, условията на експлоатацията и др. Принципно условията за избор на електрически апарати са дадени в Тема 6. Тук се разглеждат по-детайлно въпроси от избора на някои елементи в електрическите схеми.

II. Защита от къси съединения

Защитата от къси съединения е задължителна за всички електрически консуматори.

1. Предпазители със стопяеми вложки

Те осигуряват защита от къси съединения в електрическите вериги и консуматорите. Произвеждани у нас са предимно двата вида: витлови ПЕО 27, ПЕО 33 и високомощни предпазители ВП.

Номиналното напрежение на предпазителите $U_{н.пр.}$ трябва да съответства на напрежението на защитаваната верига $U_{н.вер.}$, т.е. трябва да бъде изпълнено условието:

$$U_{н.пр.} \geq U_{н.вер.}$$

Номиналният ток на вложките на предпазителите се определя по работния и по максималния ток на консуматорите. По първото условие номиналният ток на вложката $I_{н.вл.}$ трябва да бъде по-голям или най-малко равен на работния ток I_p , т.е.

$$U_{н.вл.} \geq U_p.$$

Работният ток на трифазен електрически асинхронен двигател се определя по формулата:

$$I_p = k_n \cdot I_n = k_n \frac{P_n \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \eta}$$

където:

- k_n е коефициент на натоварването;
- P_n – номинална мощност на електрическия двигател;
- U_n – номинално линейно напрежение на електрическия двигател;
- $\cos \varphi$ – фактор на мощността;
- η – к.п.д. на електрическия двигател.

По второто условие за защита на единичен електрически двигател:

$$I_{н.вл} \geq \frac{I_{max}}{\alpha_n} = \frac{k_n \cdot I_n}{\alpha_n}$$

където:

- I_{max} е максималният пусков ток на електрическия двигател;
- α_n – коефициент, отчитащ продължителността на пусковия процес ($\alpha_n = 1,6 \div 2$ за машини с тежко пускане – помпи, вентилатори и др; $\alpha_n = 2 \div 2,5$ за машини с леко пускане);
- $k_n = 3 \div 7$ – коефициент на кратност на пусковия ток, т.е.

$$K_n \geq \frac{I_{max}}{I_{нп}}$$

След като се изчисли токът на вложката по двете условия, избира се стандартна вложка по каталог с номинален ток, най-близък по-голям от изчисления. Типът на предпазителя се избира в зависимост от конструктивните изисквания към електрическите табла и големината на тока. Групова защита на няколко отклонения и електрически двигатели с общи предпазители трябва да се прилага само в изключителни случаи. Нормално в електрическите схеми трябва да се предвижда индивидуална защита от късо съединение. Необходимо е да се съблюдава и т.нар. „селективност на защитата“.

2. Автоматични прекъсвачи

Много често вместо предпазител със стопяема вложка се използват автоматични прекъсвачи.

При избора на автоматичен прекъсвач трябва да се изхожда от условията на експлоатация и от възможностите, които предлагат различните видове (варианти на изпълнение) прекъсвачи.

Условията на експлоатация се определят от въздействието на околната среда, механичните въздействия и параметрите на електрическите вериги, в които се предвижда използването на прекъсвача.

Прекъсвачът трябва да притежава по-голяма комутационна способност, отколкото е възможният ток на късо съединение в мястото на монтирането му. Номиналният ток на автоматичния прекъсвач трябва да бъде равен най-малко на максималния работен ток на захранвания консуматор. Токът на настройка на максималнотоковия изключвател трябва да бъде над максималния пусков ток на консуматора или защитаваната верига.

Номиналният ток на топлинния изключвател на прекъсвача трябва да бъде равен на номиналният ток на консуматора.

III. Защита от претоварване

Защитата от претоварване се предвижда за електрически двигатели, работещи в непрекъснат режим, когато е възможно да се получи претоварване по технологични или други причини, а така също и при тежки условия на пускане и самопускане. Като правило трифазните електрически двигатели трябва да се защитават от претоварване с триполусни биметални релета. Допуска се в някои случаи използването на двуполусни

топлинни релета. Топлинните релета не трябва да включват електрическия двигател след охлаждане на нагревателните им елементи. Веригите, в които се включват топлинните релета, трябва да бъдат защитени от късо съединение.

В случаите, когато изключването на електрическия двигател от топлинното реле влияе неблагоприятно на технологичния процес (влошава качеството на продукцията, създава опасност от повреда на механизмите и др.), може да се използва само защита от късо съединение или топлинното реле се включва във веригата на звуков сигнал, при задействането на който операторът може да вземе мерки за разтоварване на електрическия двигател.

По правило в машините с няколко електрически двигателя превключващите контакти на топлинните релета във веригата за управление трябва да се включват последователно, при което при повреда в който и да е механизъм машината да спира, без да създава опасност от авария или злополука.

При избора на топлинни релета трябва да се има предвид възможната им настройка по номиналния ток на електрическия двигател.

IV. Трансформатори в оперативни вериги

Веригите за управление обикновено се захранват от понижаващ трансформатор. При машини, в които работят електромагнитни съединители, магнитни маси и др., се предвиждат отделни трансформатори. Първичната и вторичната намотка на трансформатора не трябва да имат галванична връзка. На трансформатора се предвижда защита от късо съединение. Защитата от късо съединение във вторичната намотка се предвижда в незаземения изход. Мощността на трансформатора се изчислява за най-тежкия му режим с 20% резерва.

V. Избор на полупроводникови диоди

При избора на диодите трябва да се отчита режимът на работа, схемата на свързване, възможното претоварване по ток и напрежение. Обикновено изборът се осъществява на два етапа. През първия (предварителен) етап за конкретната схема на основание на данните за работа в статичен и динамичен режим се определят типът, начинът на свързване и броят на диодите. През втория (проверовъчен) етап се прави проверка на избрания диод по нагриване.

Главен критерий при проверката на полупроводниковите диоди е температурата на $p-n$ прехода, т.к. при превишаването на определена температура настъпва отказ в работата на диода или нарушаване на нормалната му работа.

МОДУЛ II

Електрообзавеждане на производствени машини и процеси

Тема 1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ И ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

I. Общи сведения

Металорежещите машини (ММ) са предназначени за механично обработване на изделия от метал с помощта на един или няколко режещи инструмента. Заготовката се обработва чрез отнемане на материал, в резултат на което приема форма, близка до исканата (т.нар. *чернова* или предварителна обработка), или съвпада с нея в границите на определената точност на размерите (т.нар. *чистова* обработка) и на определената чистота (гладкост) на повърхността. Тези манипулации се наричат завършващи операции.

II. Класификация на металорежещите машини

1. Според степента на специализация ММ се разделят на:

1) Универсални:

Предназначени са за обработване на детайли с различна форма и чрез различни технологични операции. Те се използват изключително в единичното, дребносерийното и ремонтното производство.

2) Специализирани:

Предназначени за обработка на еднотипни, сходни по конфигурация, но с различни размери детайли. Те се използват в серийното производство.

3) Специални машини:

Използват се за обработване на определени по вид и размери детайли. Като самостоятелна група от специалните машини, които се състоят от стандартни силови глави и механични възли и се прилагат в едросерийното и масово производство.

2. В зависимост от степента на автоматизация ММ са:

1) С ръчно управление – работният цикъл се извършва с участието на оператор;

2) Полуавтоматични – работният цикъл се извършва автоматично, а за повтарянето му е нужна намесата на оператор;

3) Автоматични – работните движения и тези на празен ход от технологичния процес, както и тяхното повтаряне се извършват автоматично;

4) С програмно управление – Numerical Control (NC) или Computer Numerical Control (CNC, у нас наложило се като термин ЦПУ – цифрово-програмно управление) – всички операции в работния цикъл, както и повтарянето му се извършват по предварително зададена на някакъв носител програма. Развитието на автоматизацията спомогна за създаването на *автоматичните технологични линии (АТЛ)* и *гъвкавите автоматизирани производствени системи (ГАПС)*.

Те се състоят от няколко ММ за последователно обработване на детайлите в единен автоматизиран цикъл, като ММ са свързани с различни

видове промишлени манипулатори, роботи и конвейри. Движението на манипулаторите и конвейрите е програмирано и синхронизирано с автоматичния цикъл на работа на ММ.

3. В зависимост от възможната точност на обработване ММ се разделят на:

- машини с нормална точност – над 10 μm ;
- машини с повишена точност – под 10 μm ;
- машини с особено висока точност;
- прецизни машини.

4. Във връзка с технологичния процес, който определя начина на обработване (характера на движение и вида на заготовката), ММ биват:

- 1) стругове – универсални, едновретенни и многовретенни, автомати и полуавтомати, копирни, каруселни, продукционни, револверни и др.;
- 2) стъргателни, дълбачни и протяжни машини – надлъжни и напречни стъргателни, дълбачни, протяжни хоризонтални и вертикални;
- 3) фрезови машини – универсални, хоризонтални, вертикални, каруселни, копирни и др.;
- 4) пробивни и разстъргващи машини – вертикални едновретенни и многовретенни, радиални, хоризонтални, координатни, дълбокопробивни, специализирани и др.;
- 5) шлифовъчни машини – универсални, кръглошлифовъчни, безцентрово шлифовъчни, плоскошлифовъчни и др.

5. Според теглото и размерите ММ се различават:

- машини с нормално тегло – до 10 Mg;
- големи – от 10 до 30 Mg;
- тежки – от 30 до 100 Mg;
- уникални – над 100 Mg.

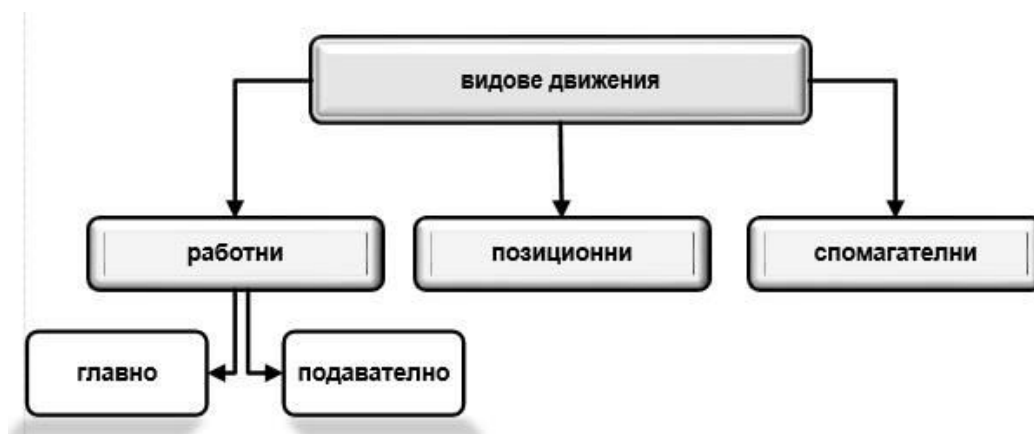
За означение на ММ са въведени цифрово и буквено-цифрено означение. Цифровото означение се използва главно от производителите. А буквено-цифровото означение е основно и дава по-голяма яснота на основната характеристика на машината. Например: СУ 322

- С (СУ 322) – група;
- У (СУ 322) – тип;
- 32 (СУ 322) – основен параметър;
- 2 (СУ 322) – модел.

III. Видове движения и кинематични вериги в металорежещите машини:

Движенията на механизмите в ММ се разделят на три групи (фиг. 1.1):

- работни;
- позиционни;
- спомагателни.



Фиг. 1.1. Видове движения в металорежещите машини

Получаването върху заготовката на желаната повърхност с предписаните геометрични форма и размери се извършва чрез преместване на режещия инструмент спрямо заготовката по точно определен закон. Необходимото относително преместване се получава чрез съставяне на движенията на заготовката и инструмента, тези движения се наричат *работни*. Те се делят на главно движение, за сметка на което инструментът реже метала и подавателни движения, обуславящи преместване на инструмента или заготовката за снемане на нов слой метал. Главното движение е едно, докато подавателните могат да бъдат повече от едно.

Позиционно движение се нарича преместване на работни органи на ММ в интервала между две работни операции, като в процеса на това преместване се осъществява взаимна координация между инструмента и детайла, с цел следващо обработване (следващ технологичен преход).

Останалите видове движения в ММ, които не участват в процеса на рязане, се наричат *спомогателни*. Към тях се отнасят:

- ✓ движение за захранване и освобождаване на заготовките;
- ✓ движение за затягане и освобождаване на работните органи;
- ✓ движение за настройване на ММ за даден режим на рязане и др.

За осигуряване на видовете движения съответните механизми са свързани чрез *кинематични вериги*: ремъчни и верижни предавки, редуктори, съединители и др. Кинематичните вериги се наричат вътрешни, когато служат за връзка между работните органи на машината, а когато свързват работните органи с източника на движение – външни. За източник на движение в ММ най-често се използват електрически двигатели, които заедно с кинематичните вериги съвместно обезпечават нужната скорост на рязане.

IV. Изисквания към електрообзавеждането на металорежещите машини

Съвременните ММ имат сложно и разнообразно електрообзавеждане. Средно на една ММ като брой се монтират по четири електрически двигателя с различна мощност, седем електромагнитни апарата (релета и контактори) и се прокарват около 150 m проводници. Между отделните

електродвигатели на ММ съществуват блокировъчни и функционални връзки. При автоматизацията на ММ освен електрозадвижвания се използват и хидравлични, а в някои случаи и пневматични задвижвания. Но основните управляващи функции обикновено се изпълняват чрез електрически системи за управление. Поради различните изисквания, широко се практикува многодвигателното задвижване на отделните механизми. Работните режими на двигателите в ММ се делят на три основни класа (БДС EN 60034): непрекъснат (S1), кратковременен (S2) и периодичен (S3÷S8).

1. Главно електрозадвижване

Електрозадвижването на главното движение на ММ трябва да отговаря на техните конструктивни особености, режимите на работа и изискванията за регулиране на скоростта. Главното електрозадвижване трябва да осигурява зададената стойност на рязане. Най-често при леките и средни металорежещи машини задвижването работи при натоварване с постоянна мощност ($P = \text{const.}$) за целия диапазон на регулиране на скоростта.

Режимът на работа на тежките ММ е непрекъснат с променливо натоварване, а при леките и средни машини може да бъде периодичен.

Диапазонът на регулиране на скоростта при въртливо главно движение достига до 125:1. Той най-често се реализира чрез АДНСР и с многостепенна скоростна кутия.

Когато главното движение е възвратно-постъпателно, електрозадвижването трябва да бъде реверсивно и да позволява плавно регулиране на скоростта на рязане. При пускане на ММ рязане не се извършва, а съпротивителният момент, породен от силите на триене във веригата на главното движение, обикновено не надвишава $15 \div 20\%$ от пълния съпротивителен момент, поради което никакви специални изисквания за повишаване на пусковия момент на главното електрозадвижване не се поставят.

2. Подавателно електрозадвижване

Електрозадвижването на подавателните механизми работи при приблизително постоянен момент за целия диапазон на регулиране на скоростта. Това се дължи на преобладаващото влияние на съпротивителния момент, създаден от силите на триене в направляващите и предавателния механизъм. Методите за регулиране на скоростта са аналогични на тези за главното електрозадвижване, с тази разлика, че в случая има значително по-малки мощности и по-голям диапазон за регулиране на скоростта – 1000:1. Режимът на работа на подавателното движение, подобно на главното движение при тежки машини е непрекъснат, а при леките и средни ММ може да бъде периодичен. За да се осигури подаване в различни посоки, както и подвеждане и отвеждане на инструмент, електрозадвижването на подаването е необходимо да бъде реверсивно. Реверсирането на подаването може да се осъществи или чрез задвижващия електрически

двигател, или с помощта на електромагнитни съединители, монтирани в скоростната кутия. При пускане и спиране съпротивителният момент допълнително нараства, т.к. коефициентът на триене при покой е по-голям, отколкото по време на движение. Това налага началният момент на електрозадвижването да бъде достатъчно голям.

3. Електрозадвижване на позиционните движения

Основно изискване тук е точно фиксиране на работните органи в определено работно положение. Електрозадвижването по възможност трябва да бъде едностранно. Понякога за обирание на хлабините се прибягва към помощта на сложни цикли на позициониране. Обикновено електрозадвижването на позиционните движения работи в кратковременен режим S2.

4. Спомагателни електрозадвижвания

Те служат за създаване на спомагателни движения и за подаване на охлаждащо и смазващо вещество. Обикновено те са нерегулируеми и се изпълняват чрез АДКСР, който работи най-често в кратковременен режим S2, а на различните видове помпи и вентилатори – непрекъснат S1. Електрическите двигатели при спомагателните електрозадвижвания трябва да имат повишен пусков момент и висока претоварваща способност.

5. Електрическа схема за управление

Тя в най-общ смисъл трябва да обезпечава управление на електрозадвижванията съгласно технологичните режими на работа на ММ. Схемата за управление трябва да позволява лесно да се настройва обзавеждането. При изграждане на системите за управление е желателно да се използва агрегатно-блоковият метод, т.к. това води до сравнително лесно комплектоване на системи с различно предназначение.

**Тема 2: ЗАГУБИ В МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ И
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА К.П.Д. СТАТИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ НА
МЕХАНИЗМИТЕ НА ГЛАВНОТО ДВИЖЕНИЕ НА
МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ**

I. Загуби в металорежещите машини и определяне на коефициент на полезно действие (к.п.д.)

Мощността на електрическите двигатели на отделните механизми на ММ в статичен режим е:

$$P_d = P_{\text{пол}} + \Delta P$$

или

$$P_d = \frac{P_{\text{пол}}}{\eta_m}$$

където:

- $P_{\text{пол}}$ – полезна мощност на механизма;
- ΔP – загубите на мощност в механизма;
- η_m – к.п.д. на механизма при $P_{\text{пол}}$.

Полезната мощност $P_{\text{пол}}$ зависи от режимите на рязане (дълбочина, скорост, подаване), режещия инструмент и материала на обработвания детайл, а к.п.д. η – от загубите в предавките (редуктори, скоростни кутии, ремъчни предавки и др.).

Загубите в металорежещите машини зависят от:

- 1) типа и броя на звената в кинематичната верига;
- 2) типа, състоянието и температурата на смазочните масла;
- 3) режима на работа и паузите на ММ;
- 4) зависимостта на коефициента на триене от скоростта;
- 5) конструкцията на лагерите;
- 6) качеството на изработването на отделните възли на ММ;
- 7) изменението на натоварването.

Отчитането на всички тези фактори е много трудно, поради което най-точно и правилно загубите ΔP и к.п.д. η на ММ се определят експериментално.

Аналитично загубите и к.п.д. на ММ се определят с някои допускания, но с достатъчна точност за избора на електрическите двигатели за електрозадвижванията им. Изменението на натоварването и скоростта оказват влияние само върху загубите в главните електрозадвижвания, работещи в зависимост от режимите на рязане с променливо натоварване и различни скорости. Загубите в кинематичната верига на електрозадвижванията на подаванията, позициониранията и на спомагателните механизми са постоянни, т.к. натоварването им се определя главно от масата на преместващите се части, а не от режимите на рязане.

Загубите при главното задвижване на ММ биват: постоянни и променливи.

1. Постоянни загуби (на празен ход) – P_o

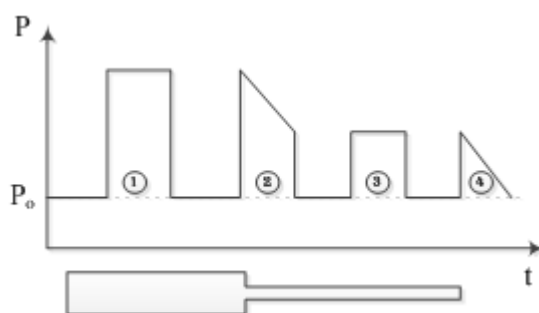
$$P = a \cdot P_{zH}$$

където:

- a – коефициент на постоянните загуби;
- P_{zH} – номинална мощност на рязане.

При ММ всички величини, свързани с рязането (отнемане на метал), се означават с индекс „z“.

На фиг. 2.1 като ①, ②, ③ и ④ са означени т.нар. *технологични преходи*, чрез тях се извършва обработката на дадената заготовка.



Фиг. 2.1. Технологични преходи

2. Променливи загуби – ΔP_v

При тях се счита, че с известно приближение са пропорционални на мощността на рязане.

$$\Delta P_v = b \cdot P_z$$

където:

- $b = const.$ – коефициент на променливите загуби;
- P_z – мощност на рязане.

Тоест, с нарастване на мощността на рязане P_z , променливите загуби също се увеличават.

Влиянието на натоварването на главното задвижване върху к.п.д. на механизма η_m в кинематичната му верига се отчита чрез коефициента на натоварване k_z .

$$k_z = \frac{P_z}{P_{zH}}$$

В ММ под номинални сили, моменти и мощности се имат предвид най-големите възможни, които действат.

Общите загуби на механизма на главното движение се определят от сумата на постоянните и променливите загуби:

$$\Delta P = P_o + \Delta P_v = a \cdot P_{zH} + b \cdot P_z$$

В сила е и следната зависимост:

$$\Delta P = \frac{P_z}{\eta_M} P_z$$

Като се имат предвид горните две зависимости и зависимостта за коефициента на натоварване k_z , за к.п.д. на ММ се получава следното:

$$\eta_M = \frac{1}{1 + \frac{a}{k_z} + b}$$

При номинално натоварване $k_z = 1$ и тогава изразът добива вида:

$$\eta_{M \text{ ном}} = \frac{1}{1 + a + b} = a + b = \frac{1 - \eta_{M \text{ ном}}}{\eta_{M \text{ ном}}}$$

За средно големи ММ и средни условия на работа при практически изчисления се приема, че:

$$a = 0,6(a + b)$$

$$b = 0,4(a + b)$$

или

$$\frac{a}{b} = 1,5$$

II. Статични натоварвания на механизмите на главното движение на ММ

Статичните натоварвания на електрическите двигатели, които задвижват механизми на главното движение на ММ, зависят от приетия технологичен режим за рязане на металите.

Всяка обработка, извършвана на ММ, се характеризира с оптимална скорост, сили и мощност на рязане, получени в резултат на много научно-изследователски и експериментални работи.

Скоростите, силите и мощностите на рязане могат да бъдат определени по емпирични формули, които за различните видове обработване са разгледани по-долу, или с помощта на специални карти за технологични нормативи.

1. Обработване на струг (струговане)

Най-честите обработки са на стругови ММ. Обработките, извършвани на струг, са:

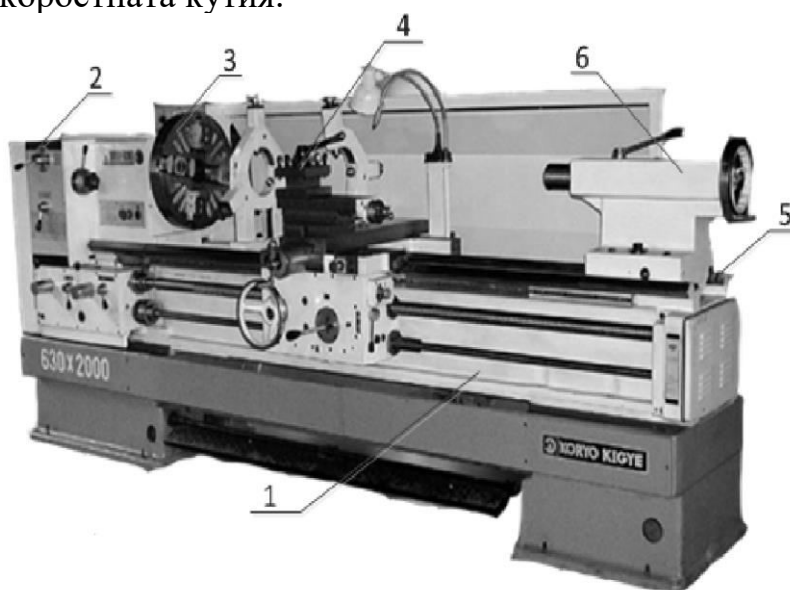
- обстъргване на външни цилиндрични и конусни повърхнини;
- разстъргване;
- челно обстъргване,
- нарязване на различни видове резби.

На струговете се обработват и отвори чрез:

- свредловане;
- зенкерование;
- райберование.

Голямото разнообразие на формите и изискванията по отношение на обработката на детайлите на стругове е наложило създаването на стругове с най-различни големина и характер на работа.

Общият вид на универсален струг, който притежава основните звена на кинематичната верига на струговете и позволява типичната обработка, характерна за всички видове стругове, е показан на фиг. 2.2. Той се състои от тяло 1, предно седло 2, главно вретено 5, супорт 4, разположен върху направляващите 3, и задно седло 6. Предното седло носи главното вретено и чрез опорите му дава стабилност при работа. В кухината на предното седло обикновено се разполага главният привод на струга – скоростната кутия. Задвижването най-често е с ремъчно предаване, като електрическият двигател за главното движение се разполага в кухината на тялото под скоростната кутия.



Фиг. 2.2. *Общ вид на универсален струг*

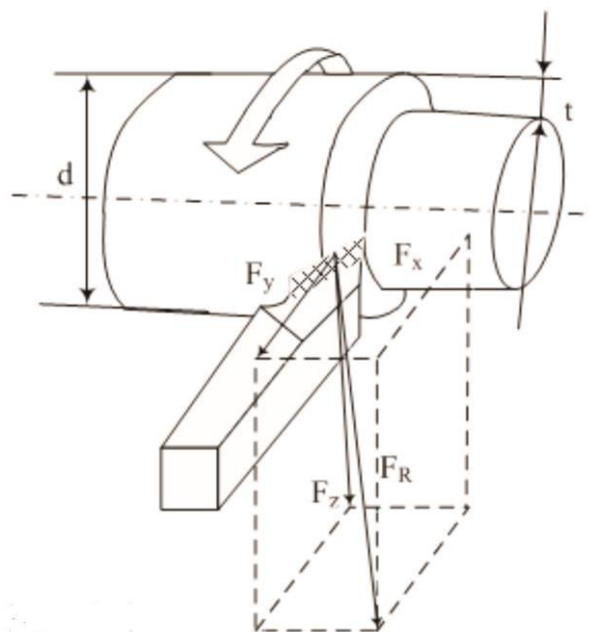
При струговане (фиг. 2.3) заготовката се върти около оста си (главно движение), а режещият инструмент извършва подавателното движение по посока, успоредна на оста на заготовката.

Отношението между отделните сили е: $F_x:F_y:F_z=1:(0,3\div0,5):(0,15\div0,3)$.

Силата на рязане е тангенциална и се определя с израза:

$$F_z = C_{F_z} \cdot t^{X_{F_z}} \cdot s^{Y_{F_z}} \cdot v^n \cdot K_{F_z}$$

където: C_{F_z} - силова константа, която зависи от физико-механичните свойства на обработвания материал, от геометрията на режещия инструмент и други фактори; X_{F_z} и Y_{F_z} - степенни показатели, които зависят предимно от физико-механичните показатели на обработвания материал; K_{F_z} - корекционен коефициент; n – степенен показател, който зависи от скоростта на рязане v ($n=-0,15$ при твърдосплавни стругарски ножове, $n=0$ при ножове от бързорежеща стомана).



Фиг. 2.3. Схема на струговане – действащи сили:

F_z – тангенциална сила или сила на рязането, определяща мощността на главното движение; F_y – радиална сила, влияеща върху мощността на подавателното движение (оказва влияние върху силите на триене между супорта и направляващите); F_x – осева сила или сила на подавателното движение; t – т.нар. прибавка за обработване.

Линейната скорост (m/min), с която точката на контактуване на изделието и инструмента се премества относно изделието, е равна на скоростта на рязане и се определя с изрази:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{в}}}{1000}, \quad [\text{mm}/\text{min}]$$

където:

- d – диаметър на заготовката преди обработването, [mm];
- $n_{\text{в}}$ – скорост на главното вретено (патронник), [min^{-1}].

Оптималната скорост на рязане се определя с емпиричната формула:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$$

където:

- t – дълбочина на рязането, определена от разстоянието между обработената и необработената повърхнина (при чернова обработка $t = 3 \div 30$ mm, а при чистова $t = 0,1 \div 2$ mm);
- s – подаване, определено от преместването на режещия инструмент за един оборот на заготовката (при чернова обработка $s = 0,4 \div 2$ mm/об., а при чистова $s = 0,1 \div 0,4$ mm/об.);
- T – трайност на режещия инструмент, определена от времето между две последователни заточвания или замяна с нов (трайността на стругарските ножове от бързорежеща стомана е 60 min, а на твърдосплавните — от 60 до 90 min).

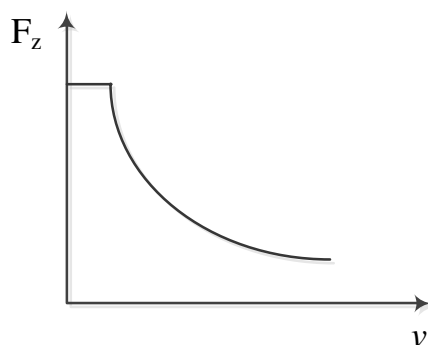
Коефициентите C_v , x , y , m зависят от условия на рязане, физико-механичните свойства на режещия инструмент и др. Стойностите им се вземат от литературата по режими на рязане.

Максимална сила на рязане $F_{z\ max}$ на метали, се получава при голямо подаване s и дълбочина t . На тази максимална сила обаче съгласно:

$$F_{z\ max} \cdot v_{min} = F_{z\ min} \cdot v_{max}$$

съответства малка скорост на рязане v_{min} . И обратното – на малка сила на рязане $F_{z\ min}$ съответства голяма скорост v_{max} .

Зависимостта на силата на рязане от скоростта в зоната на големите скорости представлява хипербола (фиг. 2.4). В зоната на малките скорости, които се използват при обработване на твърди сплави, нарязване на резби и др., силата на рязане е постоянна.



Фиг. 2.4. Натоварване на главното движение на струг – зависимост на силата на рязане от скоростта

Процесът струговане в зоната на големите скорости се извършва при постоянна мощност на рязане в [kW].

$$P_z = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 1000}$$

В зоната на малките скорости: $P_z = const \cdot v$

Статичният съпротивителен момент на главното движение при малки скорости на рязане ($F_z = const.$) е постоянен, а в зоната на големите скорости, аналогично на силата на рязане:

$$M_z = \frac{const}{n_B}$$

Работата в зоната на ниските скорости с постоянна мощност е нецелесъобразна, поради голямото увеличаване на въртящия момент, т.е. ще се увеличат габаритните размери на предавката.

2. Стъргане

Обработването на металите чрез стъргане се извършва на напречно-стъргателни машини (шепинг машини – фиг. 2.5) и надлъжно-стъргателни (хобел машини – фиг. 2.6).



Фиг. 2.5. Шепинг машина



Фиг. 2.6. Хобел машина

Чрез шепинг машините се обработват малки детайли. При тях главното движение се извършва от ножа, който се носи от плъзгача, а подаването – от масата, която носи обработвания предмет. Подавателното движение е прекъснато и се извършва след всеки обратен ход на плъзгача. За двете движения обикновено се използва един електрически асинхронен двигател.

На надлъжно-стъргателните машини се извършва стъргане на големи предмети. Главното движение в надлъжно-стъргателните машини е възвратно-постъпателно и се извършва от масата на машината, която носи върху себе си предмета за обработване. При стъргането формулите за v и P_z са аналогични на тези при струговане. Процесът стъргане, както и струговане, се извършва с големи сили при малки скорости, т.е. при постоянна мощност на рязане.

При хобел машините натоварването на главното движение зависи от силите на триене между масата и направляващите, които са значителни, поради голямото тегло на обработвания предмет и масата:

$$F_{\text{тр}} = f(F_y + G_{\text{оп}} + G_{\text{м}})$$

където:

- $f = 0,05 \div 0,08$ е коефициент на триене на масата с направляващите;
- $F_y \approx 0,4F$ – вертикална сила на рязане;
- $G_{\text{оп}}$ – тегло на обработвания предмет;
- $G_{\text{м}}$ – тегло на масата.

Общото натоварване (теглителната сила) на главното движение на хобел машината е:

$$F_{\text{тег}} = F_z + F_{\text{тр}}$$

При обратния ход на масата теглителната сила е:

$$F_{\text{тег.об}} = F_z + F_{\text{тр.об}} = f(G_{\text{оп}} + G_{\text{м}})$$

3. Пробиване

При обработването на детайли с различни големина и разнообразно разположение на отворите се използват различни по големина и начин на работа пробивни машини. За малки и средни по големина детайли се използват настолни пробивни машини, а за средни и тежки детайли – радиални пробивни машини (фиг. 2.7).



Фиг. 2.7. Пробивна машина

При пробиването режещият инструмент извършва главното (ротационно) и подавателното (постъпателно) движение.

Скоростта на рязане (m/min) при пробиване се изчислява с помощта на получена по експериментален път формула:

$$v = \frac{C_v \cdot d_c^z}{T^m \cdot s^{y_v}}$$

където:

- T – трайност на свредлото, [min];
- s – подаване, [mm];
- d_c – диаметър на свредлото, [mm];
- m, z_v, y_v, C_v – коефициенти, стойностите на които се вземат от справочници по режими на рязане.

По скоростта на рязане се определя честотата на въртене на свредлото (min^{-1}):

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d_c}$$

Въртящият момент при главното движение [Nm] е:

$$M_c = C_M \cdot d_c^{1.9} \cdot s_M^{y_M} \cdot k_M$$

където: C_M – коефициент, който зависи от материала на обработвания детайл и свредлото; y_M – степенен показател, който се избира от литературата според режимите на рязане; k_M – общ корекционен коефициент; s – подаване (това е изместването в напречна посока на ножа за един двоен ход), $s = 1 \div 7 \text{ mm/дв.ход}$ при чернова обработка и $s = 10 \div 30 \text{ mm/дв.ход}$ при чистова обработка.

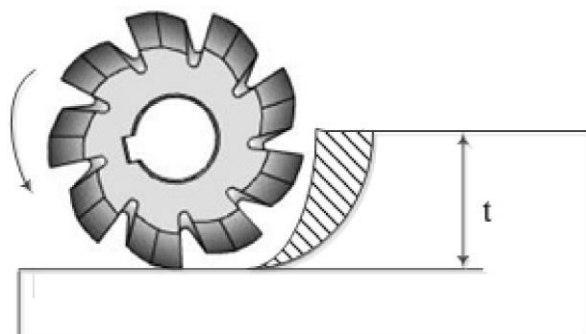
Мощността на рязане [kW] е:

$$P = \frac{M_c \cdot n}{9550}$$

4. Фрезование

При фрезоването (фиг. 2.8) главното движение е въртенето на режещия инструмент (фрезата), а движението на подаването е преместването на обработваната заготовка.

Двете движения се извършват едновременно. При придвижването на заготовката към фрезата зъбите ѝ се врязват последователно в обработвания материал, като отделят тънки слоеве от метал във вид на стружки.



Фиг. 2.8. Операция фрезование

Скоростта на рязане при фрезование (m/min) е:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\phi} \cdot n}{1000}$$

където:

- d_{ϕ} – диаметър на фрезата, [mm];
- n – честота на въртене на фрезата, [min^{-1}].

5. Шлифование

Шлифването се извършва с абразивен инструмент, който най-често е оформен като шлифовъчен диск. При шлифването главното движение е ротационното на шлифовъчния диск. Подавателните движения се извършват от диска или от изделия. Има няколко метода на шлифование:

- външно кръгло шлифование;
- вътрешно кръгло шлифование;
- плоско шлифование.

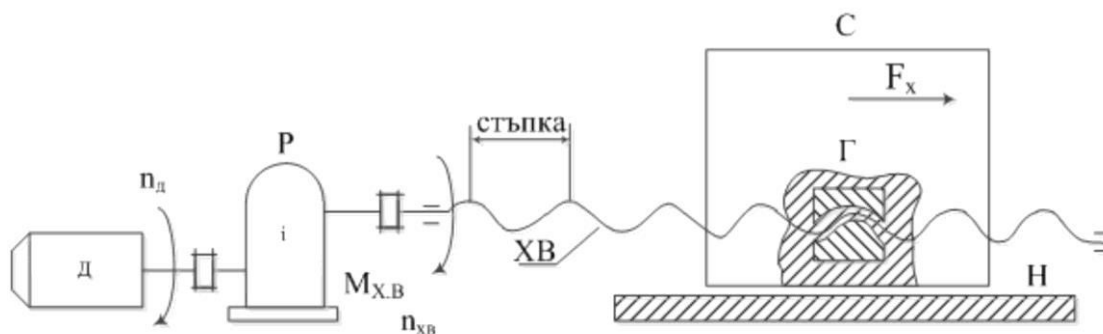
Периферната скорост на рязане и мощността на рязане при шлифование зависят от вида на обработката, качеството на обработвания материал и вида на шлифовъчния диск. Те се определят с помощта на емпирични формули и нормативи, дадени в справочната литература по режими на рязане.

Тема 3: СТАТИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ НА ПОДАВАТЕЛНИТЕ И СПОМАГАТЕЛНИТЕ МЕХАНИЗМИ

I. Статични натоварвания на подавателния механизъм

Най-често подавателните движения се характеризират чрез ходов винт.

На фиг. 3.1 е показана типова кинематична схема на подавателен механизъм. Въртеливото движение на електрическия двигател Д чрез редуктора Р се предава на ходовия винт ХВ и чрез гайката Г, неподвижно закрепена на супорта С (масата), се преобразува в постъпателно движение на супорта по направляващите Н.



Фиг. 3.1. Типова кинематична схема на подавателен механизъм

Необходимата теглителна сила за линейното преместване на супорта при масата зависи от големината на силите F_z , F_x , F_y и теглото на преместващите се части.

Действителната сила, без отчитане на теглото на движещите се части, е следната:

$$F_{\text{под}} = k \cdot F_x + (F_z + F_y) \cdot f$$

където:

- $k = (1,2 \div 1,5)$ – коефициент на запаса;
- $f = (0,05 \div 0,15)$ – коефициент на триене при движение.

С отчитане на теглото на движещите се части, силата е следната:

$$F_{\text{под}}' = k \cdot F_x + (F_z + F_y + G_c + G_{\text{дет}}) \cdot f$$

където:

- G_c – тегло на супорта или масата;
- $G_{\text{дет}}$ – тегло на детайла.

При тръгване на супорта или масата от място действат само силата на триене, получена от теглото на преместващите се части на подавателния механизъм, и силата на прилепване, тогава необходимата теглителна сила е следната:

$$F_{\text{под}}'' = (G_c + G_{\text{дет}}) \cdot f_0 + \alpha_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}}$$

където:

- $f_0 = (0,2 \div 0,3)$ – коефициент на триене в направляващите при тръгване от място;

- $\alpha_{\text{пр}} \approx 0,5 \text{ N/cm}^2$ – специфична отделителна сила при прилепване.
- $S_{\text{пр}}$ – площ на прилепване на супорта с направляващите, [cm].

Моментът на ходовия винт в [Nm] се определя с израз:

$$M_{\text{х.в}} = \frac{F_{\text{под}} \cdot d_{\text{ср}} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)}{2}$$

където:

- $d_{\text{ср}}$ – среден диаметър на винта, [mm];
- α – ъгъл на наклона на резбата на ходовия винт, [градус (°)];
- φ – ъгъл на триенето на ходовият винт, [градус (°)].

Статичният съпротивителен момент на вала на електрическия двигател е:

$$M_{\text{с}} = \frac{M_{\text{х.в}}}{i \cdot \eta_{\text{пр}}}$$

където:

- i – предавателно отношение на предавката от електрическия двигател към ходовия винт;
- $\eta_{\text{пр}}$ – к.п.д. на предавката, ($\eta_{\text{пр}}=0.98-0.99$ за зъбна цилиндрична предавка, $\eta_{\text{пр}}=0.96-0.97$ за зъбна конична предавка, $\eta_{\text{пр}}=0.7-0.8$ за червячна предавка, $\eta_{\text{пр}}=0.93-0.95$ за клиноремъчна предавка и $\eta_{\text{пр}}=0.94-0.96$ за плоско-ремъчна предавка).

При изчисляването на мощността на електрическия двигател на подавателното движение се използва статичният съпротивителен момент, определен с по-голямата от двете сили $F_{\text{под}}'$ и $F_{\text{под}}''$. Като цяло мощността на електрическия двигател за подавателния механизъм е много по-малка от тази на електрическия двигател за главното движение, т.к. скоростта на подаването е многократно по-малка от скоростта на рязане.

Съпротивителният момент на задвижването на подаването се обуславя предимно от силите на триене в направляващите и загубите в предавките и не зависи от скоростта на подаване.

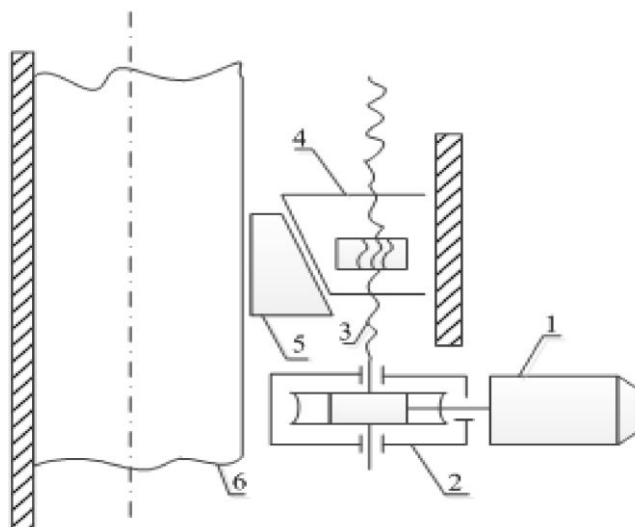
II. Статични натоварвания на спомагателните механизми

За нормалната работа на електрозадвижването на спомагателните механизми на ММ електрическите двигатели трябва да осигуряват необходимите за механизма сили.

Като пример на фиг. 3.2 е показана кинематична схема на спомагателния механизъм за затягане на колоната на радиална пробивна машина.

Въртеливото движение на електрическия двигател 1 чрез червячния редуктор 2 и ходовия винт 3 се преобразува в постъпателно движение на

клина 4, който при движението си надолу с помощта на втория клин 5 затяга колоната 6.



Фиг. 3.2. Кинематична схема на спомагателния механизъм за затягане на колоната на радиална пробивна машина

За да може колоната да се закрепва сигурно и да се избегнат вибрациите при обработването на детайлите, трябва да се спазва следното условие:

$$F_N \geq \frac{Q \cdot l}{R \cdot \mu}$$

където:

- F_N – нормалното налягане, упражнено върху колоната от затягащото устройство, [N];
- Q – сила, приложена в центъра на тежестта на системата колона – траверса, [N];
- l – разстояние между оста на колоната и центъра на тежестта, [m];
- R – външен радиус на колоната, [m];
- μ – коефициент на триене.

Моментът на вала на електрическия двигател се определя по следната формула:

$$M_c = \frac{M_{х.в}}{i \cdot \eta_{пр}}$$

Тема 4: ДИНАМИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Динамични натоварвания възникват при пускане и спиране на метало-режещите машини, при изменение на сечението на стружката поради неравномерност на прибавката за обработване, при изменение на вида или режима на обработването, броя на работещите инструменти, диаметъра на обработвания детайл и др.

Времето за спиране зависи от съпротивителния момент при работа на празен ход. При подавателни движения този съпротивителен момент е относително голям и времето за спиране е малко. При главните въртеливи движения съпротивителният момент при работа на празен ход е относително малък и времето за спиране може да се получи голямо. При високи честоти на въртене на главното вретено, времето за спиране може да достигне до десетки секунди. Това налага в такива случаи да се използват различни видове механични спирачки или спирачни режими на електрическите двигатели, за да се намали времето за спиране.

В съвременните ММ скоростта на вретеното може автоматично да се регулира, като се използват електрозадвижвания и с променлив, и с постоянен ток. Развиваният при рязане на вала на електрическия двигател момент е:

$$M_d(t) = M_c(t) + M_{\text{дин}}(t)$$

където:

- M_c – статичен съпротивителен момент, обусловен от силите на рязане и силите на триене;
- $M_{\text{дин}}$ – динамичен момент, осигуряващ необходимото изменение на скоростта.

За поддържане на постоянна скорост на рязане в процеса на обработване е необходимо ъгловата скорост на изделието и съответно на електрическия двигател да се изменя в зависимост от диаметъра, съгласно следната формула:

$$\omega_d = \omega_n \cdot i = \frac{v \cdot i}{0,5 \cdot d}$$

където:

- ω_d и ω_n – съответно ъглови скорости на електрическия двигател и изделието, [rad/s];
- v – скорост на рязане, [m/s];
- i – предавателно отношение на кинематичната верига от електрическия двигател към вретеното;
- d – текущ диаметър на изделието при обработване, [m].

Изменението на ъгловата скорост на електрическия двигател в зависимост от диаметъра при постоянна скорост на рязане представлява хипербола (фиг. 4.1 а).

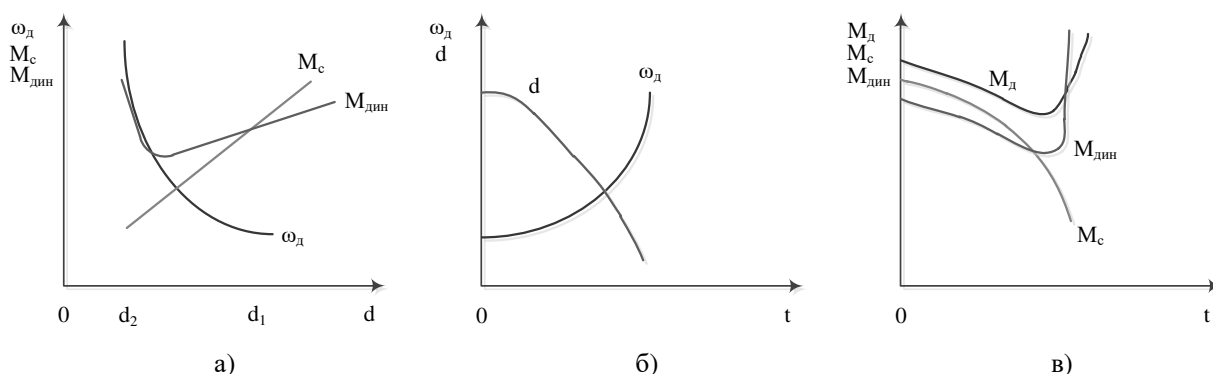
При това статичният съпротивителен момент (Nm), приведен към вала на електрическия двигател, също ще се изменя при изменението на диаметъра на изделието:

$$M_c = \frac{F_z \cdot d}{2 \cdot i \cdot \eta_{пр}} + M_{тр}$$

където:

- F_z – сила на рязане;
- $M_{тр}$ – момент, породен от силите на триене;
- $\eta_{пр}$ – к.п.д. на кинематичната верига на предавката от електрическия двигател към вретеното.

Графично зависимостта $M_c = f(d)$ е показана на същата фигура.



Фиг. 4.1. Характеристики при стругово обработване с постоянна скорост на рязане

За да се определи изменението на динамичния момент, трябва да се знае законът за изменение на ъгловата скорост ω_d по време на обработването (машинното време).

На фиг. 4.1 б) е показана зависимостта на $d = f(t)$ при челно обработване от r_1 до r_2 ($r_1 > r_2$) при постоянна скорост на рязане v . Зависимостта за изменението на ъгловата скорост на електрическия двигател позволява да се определи динамичният момент [Nm] на вала на електрическия двигател по време на обработването:

$$M_{дин}(t) = J \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_t,$$

където J е инерционен момент на електрозадвижването, приведен към вала на електрическия двигател.

Трябва да се получи зависимостта $\omega_d = f(t)$.

Чрез графично елиминирание от зависимостите $\omega_d = f(d)$ и $d = f(t)$ се получава зависимостта $\omega_d = f(t)$ дадена на фиг. 4.1 в). Извършваме диференциране на зависимостта:

$$\frac{d\omega_d}{dt}$$

И като умножим по J_Σ получаваме $M_{дин} = f(t)$, даден на фиг. 4.1в). Използвайки зависимостта $M_c = f(d)$ и $d = f(t)$ чрез графично елиминирание получаваме зависимостта $M_c = f(t)$ дадена на фиг. 4.1в).

Изхождайки от зависимостите $M_c = f(t)$ и $M_{дин} = f(t)$ чрез сумиране получаваме зависимостта $M_d = f(t)$, дадена на фиг. 4.1 в). От зависимостта $M_{дин} = f(t)$ и $d = f(t)$ чрез графично елиминирание получаваме зависимостта $M_{дин} = f(d)$.

Анализът на показаните зависимости показва, че в края на обработваното изделие (при малки диаметри) скоростта на електрическия двигател и съответно динамичният момент рязко нарастват. Това води до повишаване на общия момент на вала на електрическия двигател, големината на който не трябва да надвишава допустимия за избрания електрически двигател момент.

Уравнението на движение на електрозадвижването относно вала на зъбното колело, което се свързва със зъбния гребен на масата, е:

$$M_d \cdot i - M_c = (J_d \cdot i + J_m) \frac{d\omega_m}{dt}$$

където:

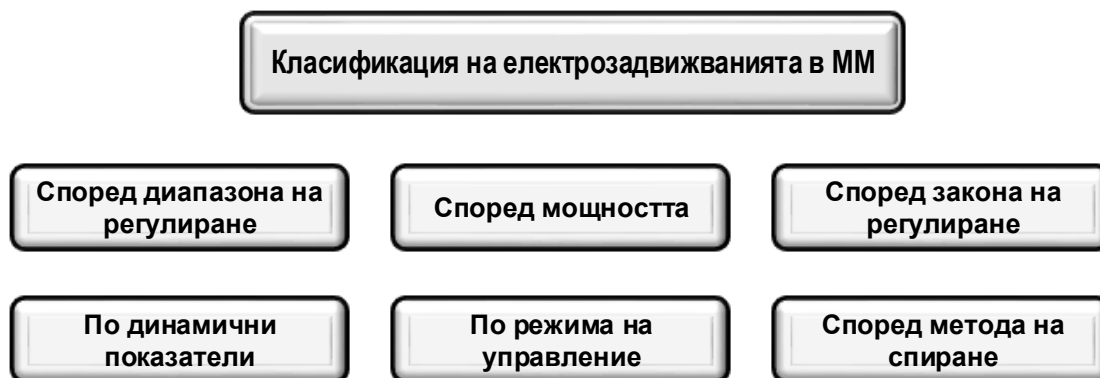
- M_d – момент, развиван от електрическия двигател при пускане;
- i – предавателно отношение на редуктора;
- M_c – статичен съпротивителен момент при работа на празен ход;
- J_d – инерционен момент на електрическия двигател;
- J_m – инерционен момент на всички движещи се части, приведен към вала на електрическия двигател;
- $\frac{d\omega_m}{dt}$ – ускорение на вала на зъбното колело.

Определянето на оптималното предавателно отношение има важно значение за електрозадвижванията на тежки надлъжно-стъргателни ММ, при които поради големия им инерционен момент времето за реверсиране е голямо. За намаляване на общия инерционен момент при тези машини често се използват два електрически двигателя с мощност, равна на половината от необходимата обща мощност. При това общият инерционен момент намалява 4 пъти и загубите на енергия при преходните процеси значително намаляват.

Тема 5. РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА НА ЗАДВИЖВАНИЯТА НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ. ВИДОВЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ, ПРИЛАГАНИ ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ

I. Общи сведения

Електрозадвижванията, които се използват в ММ се класифицират основно по следните признаци, фиг. 5.1:



Фиг. 5.1. Класификация на електрозадвижванията в металорежещите машини

Стабилността на работа на електрозадвижванията се характеризира с изменението на скоростта при изменение на натоварването в определени граници. Понижението на скоростта на електрическия двигател при изменение на натоварването му от 0 до номиналното за ММ не трябва да превишава $5\div 10\%$ от скоростта на празен ход за целия диапазон на регулиране.

Получаването на различни режими на рязане, обезпечаващи икономически изгоден технологичен процес при работата на ММ, се постига чрез регулиране на скоростта на главното задвижване и на задвижването на подаването. За регулиране на скоростта на горните две задвижвания се използват: системи за механично степенно регулиране, системи за електромеханическо степенно регулиране и системи за електрическо безстепенно регулиране.

1. Система за механично степенно регулиране

Механичното степенно регулиране на скорости се прилага при малки и средни металорежещи машини, където за главното и подавателното движение се използва един едностранен електрически асинхронен двигател с накъсосъединен ротор. Скоростта на двете движения се регулира на степени, като се превключват зъбните колела в скоростните кутии. Превключването става ръчно или дистанционно с помощта на многодискови електромагнитни съединители. Основният недостатък на този начин на регулиране на скоростта е, че не може да се осигури икономически изгодна скорост на рязане v_{onm} за всички диаметри на обработвания детайл.

2. Система за електромеханично регулиране

Извършва се чрез комбинирано изменение на скоростта на електрическия двигател и при включване на предавките на скоростните кутии. По отношение на електрическия двигател – използват се многоскоростни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор или постояннотокови. Ако броят на скоростите на електрическия двигател е m , а на скоростната кутия е y , то общ брой на скоростите на машината z е:

$$z = my$$

При този начин на регулиране на скоростта се намалява броят на механичните степени в скоростната кутия на машината.

3. Системи за електрическо регулиране

Тук регулирането на скоростта, се осъществява само за сметка на изменението на скоростта на електрическия двигател, като в този случай скоростната кутия е заменена с редуктор. При този начин на регулиране на скоростта се получава плавно изменение на скоростта.

II. Основни показатели, характеризиращи регулирането на скоростта

Основните показатели, които определят регулирането на скоростта на механизмите на ММ, са следните:

1. Диапазон на регулирането

Диапазонът на регулирането на скоростта при въртливо главно движение се определя с отношението на максималната ω_{max} към минималната ω_{min} ъглова скорост на изделието (вретеното):

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}$$

Тези две ъглови скорости зависят от скоростите на рязане v_{max} и v_{min} , от материала на изделието (заготовката) и материала на режещия инструмент.

При постъпателно главно движение диапазонът се определя от отношението на максималната v_{max} към минималната v_{min} линейна скорост на движение:

$$D = \frac{v_{max}}{v_{min}}$$

2. Плавност на регулирането

Плавността на регулирането на скоростите се определя от отношението на две съседни стойности на скоростта:

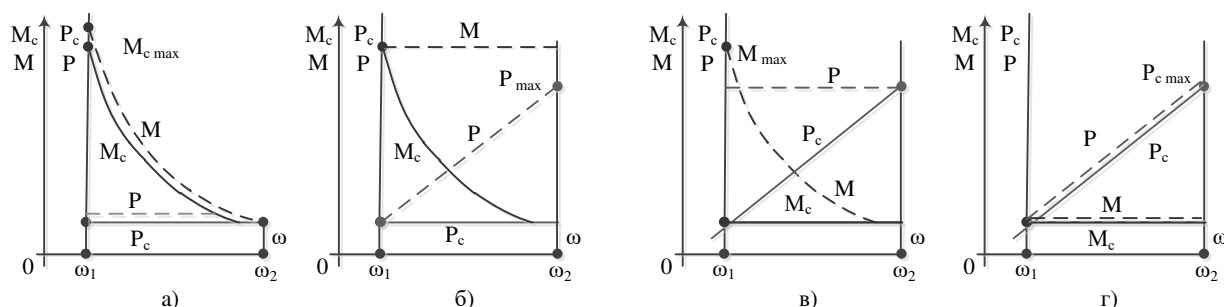
$$K_{пл} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$$

Стойностите за $K_{пл}$ са стандартизирани (1.06; 1.12; 1.26; 1.41; 1.58; 1.78; 2.00), но най-често се използват стойностите $K_{пл} = 1.26; 1.41$ и 1.58 . Очевидно е, че при $K_{пл} = 1$ се получава плавно регулиране на скоростта.

3. Условия на натоварването

Характеризират се със зависимостта на мощността или товарния момент във функция от ъгловата скорост (честотата на въртене). Този показател е много важен за правилния избор на регулируемия електрически двигател и метода за регулирането му.

На фиг. 5.2 от гледна точка на използване на електрическите двигатели по допустимо нагряване при различни методи на регулиране и различни характеристики на натоварването и различни методи на регулиране. Графиките на натоварването $P_c = f(\omega)$ и $M_e = f(\omega)$ за главното движение на ММ с малък съпротивителен момент на празен ход са показани на фиг. 5.2 а) и б), а на подавателното движение — на фиг. 5.2 в) и г). С прекъснати линии на фиг. 5.2 а) и в) са показани допустимите натоварвания на електрическия двигател при метод на регулиране с постоянна мощност $P = \text{const}$, а на фиг. 5.2 б) и г) — при метод на регулиране с постоянен момент $M = \text{const}$. Механичните характеристики на реалните задвижвания на ММ малко се отличават от показаните.



Фиг. 5.2. Характеристики на използването на електрическия двигател при различни натоварвания и методи за регулиране на скоростта

Пълно използване на електрическия двигател за целия диапазон на регулиране на скоростта се получава при съответствие на метода на регулиране с графиките на натоварване, фиг. 5.2 а) и г), при това за номиналната мощност и момент на електрическия двигател се получава:

$$P_H = P_{c \max}$$

$$M_H = M_{c \max}$$

т.е. електрическите двигатели се използват по мощност и момент, без да са преоразмерени.

Ако натоварването е с постоянна мощност, а регулирането на електрическия двигател е с постоянен момент, фиг. 5.2 б), номиналната мощност на електрическия двигател се получава завишена в сравнение с P_c толкова пъти, колкото е диапазонът на регулиране D :

$$P_H = P_{\max} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot P_c = P_c \cdot D$$

Освен това електрическият двигател за целия диапазон на регулирането на скоростта работи с непълно натоварване, от което се влошават енергийните показатели на електрозадвижването η и $\cos\varphi$, а номиналният му момент се използва пълно само при минималната скорост ω , където: $M_n = M_{c \max}$. На фиг. 5.2 в) където регулирането на скоростта на електрическият двигател е с постоянна мощност, а натоварването с постоянен момент, номиналният момент на електрическият двигател се получава завишен в сравнение с M_c толкова пъти, колкото е диапазонът на регулиране D :

$$M_n = M_{\max} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot M_c = M_c \cdot D$$

Завишаването на номиналният момент увеличава габаритите на електрическият двигател, а номиналната му мощност се използва пълно само в точката, съответстваща на максимална скорост ω_2 , където $P_n = P_{c \max}$.

III. Видове електрически двигатели, прилагани за електрозадвижването на ММ

1. Асинхронен двигател с накъсосъединен ротор (АДНСР)

Голямо е приложението на тези електрически двигатели за електрозадвижване на механизмите на главните движения при малки и средни мощности. Могат да се използват електрически двигатели както на лапи, така и на фланци. Фланцовите електрически двигатели позволяват да се получи компактното им вграждане в ММ. При тях въртеливото движение от вала им се придава непосредствено на скоростната кутия, а при електрическите двигатели с лапи – най-често с ремъчна предавка. При фланцовото съединение на електрическият двигател трябва да се отчита, че е възможно предаване на топлина от редукторите към електрическият двигател и обратно.

Произвеждат се специални електрически двигатели за шлифовъчните машини, при които честотата на въртене достига $12000 \div 14400 \text{ min}^{-1}$. Това се налага, за да може при шлифване на отвори да получим желанния клас на гладкост, тези устройства се наричат електровретена. В статора си имат двуполюсна намотка, а роторът им се набира от специална листова електротехническа стомана с вградена накъсосъединена намотка.

Особено значение за работата на електровретената има вида на лагерите. При честота на въртене до 10000 min^{-1} обикновено се използват сачмени лагери с повишена точност. Значително разпространение са получили аеростатичните лагери, при които благодарение на създаваната въздушна възглавница се намаляват загубите на триене в електровретеното. Използва се понякога и магнитно окачване на лагерите. При производството на високочестотните електрически двигатели се поставя изискване за точното изработване на отделните детайли, динамичното балансиране на ротора и равномерност на въздушната междина между статора и ротора. За захранването на електрическите

двигатели с висока честота се използват специални полупроводникови преобразуватели.

Честотата на захранващото напрежение се определя в зависимост от желаната честота на въртене:

$$f = \frac{n_o \cdot p}{60}$$

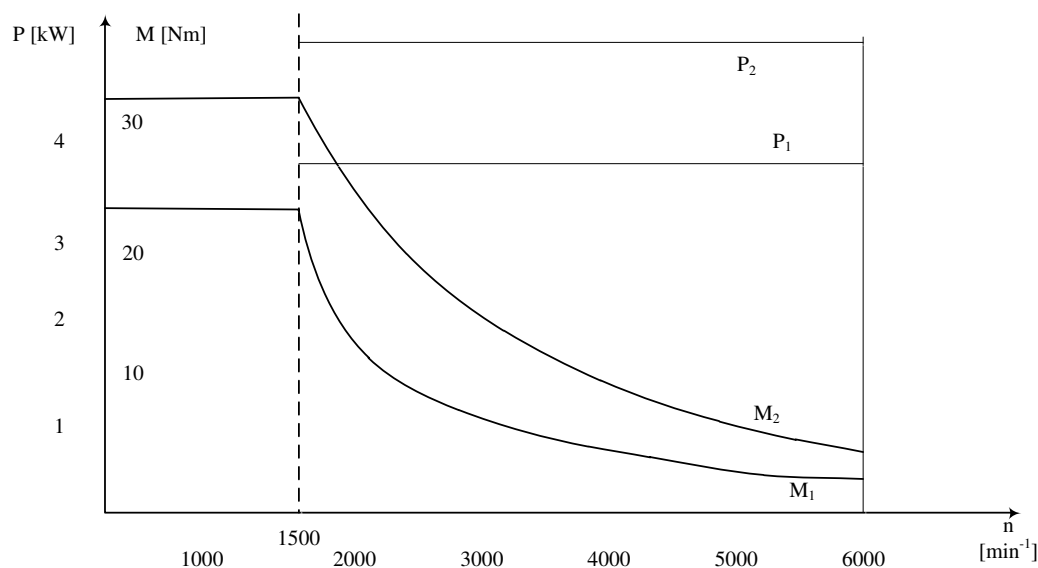
където:

- p – брой на двойките полюси;
- n_o – синхронна честота на въртене на електрическия двигател, min^{-1} .

2. Специални АД за главни движения

У нас са разработени АД от серията АММ, предназначени за задвижване на главното задвижване (вретеното) на ММ с ЦПУ. Изискванията на режимите за рязане на ММ предопределят специфичната диаграма на максималната полезна мощност и полезен момент в обхвата на регулиране.

На фиг. 5.3 са показани граничните моменти и мощности при режим S1 (M_1, P_1) и за режим S2 (M_2, P_2) с продължителност 30 min. за двигател АММ 112-2-4. Тези електрически двигатели са разработени в серия с мощности $1.1 \div 45 \text{ kW}$ и максимална честота на въртене 6000 min^{-1} .



Фиг. 5.3. Гранични моменти и мощности на специални АД за главни движения

При този вид електрически двигатели обхватът на регулиране се дели на две части. В зоната на ниските скорости (до 1500 min^{-1}) максималният момент остава постоянен, а максималната полезна мощност нараства линейно от честотата на въртене, поради което тази зона условно се нарича зона на регулиране при постоянен момент. При високите честоти на въртене (над 1500 min^{-1}) максималната полезна мощност се запазва постоянна, а максималният полезен момент намалява по хипербола. Тази зона условно се нарича зона на регулиране при постоянна мощност. Спецификата на товаровата диаграма характеризира електрическия двигател за главни движения на ММ като електрически двигател за двузонно регулиране на честотата на въртене.

3. Специални ПТД за главни задвижвания

Диаграмата им се дели на две зони и има вида, даден на фиг. 5.3, затова те се наричат електрически двигатели за двузонно регулиране на честотата. Известно е, че при ПТД напрежението е:

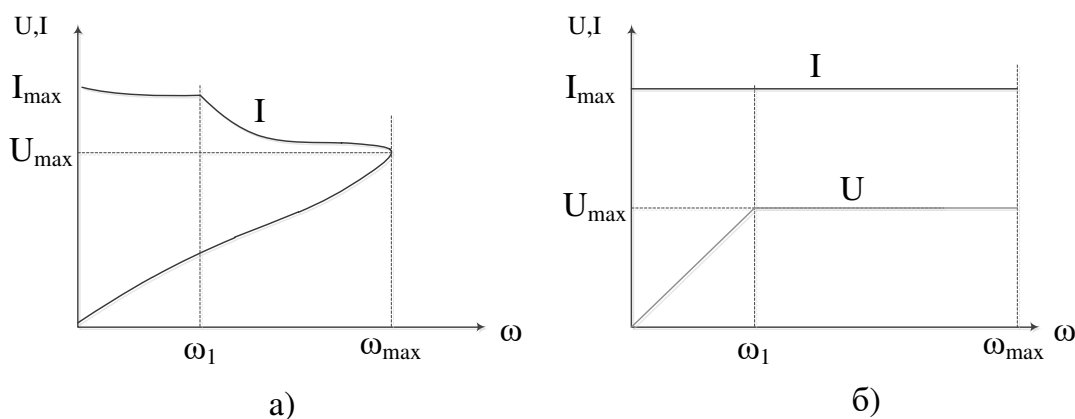
$$U \approx C_E \cdot \Phi \cdot \omega$$

а моментът:

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I$$

По принцип двузонното регулиране може да се осъществи по следните два начина:

- регулиране чрез напрежението на котвата при запазване на пълно възбуждане (фиг. 5.4 а);
- регулиране чрез напрежението на котвата при пълно възбуждане до честота ω_1 (първа зона) и чрез отслабено възбуждане при постоянно напрежение на котвата (фиг. 5.4 б).



Фиг. 5.4. Двузонно регулиране на специални ПТД за главни задвижвания

При анализ се вижда, че първият вариант на регулиране се използва само при малки мощности; при по-големи мощности и широка зона с постоянна гранична мощност се използва вторият вариант на регулиране, но при него не могат да се използват постоянни магнити и двигателите са с възбудителна намотка. Създадени са електрически двигатели за главни движения от серията МР, която обхваща номинални мощности от 5.5 до 110 kW при максимална честота на въртене 3500 min^{-1} . Степента на защита е IP23 и двигателите са предназначени за двузонно регулиране при диапазон 1:1000.

4. ПТД с постоянни магнити за подавателни движения:

Това са електрически двигатели, чиято честота на въртене се регулира чрез изменение на напрежението на котвата и чиито граничен товарен момент при непрекъснат режим почти не се променя, т.е. налице е регулиране при $M = \text{const.}$, прилагат се за задвижване на надлъжните, напречните и вертикалните подавателни механизми на ММ с ЦПУ.

5. Стъпкови двигатели:

У нас се произвеждат 6 типа стъпкови електрически двигатели от серията ЕС, върху статора са разположени 5 намотки (фази), като при последователно превключване се получават 10 комутации, а роторът им е дисков и малоинерционен.

Тема 6. ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ И ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

I. Общи сведения

В металорежещите машини (ММ) се използват регулируеми по честотата на въртене задвижвания, които могат да се разделят на: за променлив ток, за постоянен ток и дискретни системи.

От променливотоковите електрозадвижвания най-често се използват тези с честотно управление, със синусоидална широчинно-импулсна модулация (ШИМ), с векторно управление и с ориентация по магнитното поле на електрическия двигател.

Задвижването с постоянен ток се използва в механизмите на ММ, когато е необходимо регулиране на честотата на въртене в голям диапазон и има големи изисквания по отношение на качеството на преходните процеси.

II. Електрозадвижвания на главното движение с ПТД

Комплектните електрозадвижвания КЕМТОР и КЕМРОС са предназначени за главни движения на ММ с ЦПУ, те захранват електрическите двигатели от серия МР с височина на оста на въртене 112, 132, 160, 225. Най-голямо разпространение е намерила серията КЕМТОР за управление на главното движение на ММ. При това електрозадвижване се използват ПТД с независимо възбуждане, като котвената и възбудителна намотки се захранват отделно от два управляеми изправителя, командвани от управляващо устройство. Системата КЕМТОР има два тиристорни изправителя: единият – трифазен, реверсивен с разделно управление за котвата на електрическия двигател, а другият – еднофазен, полууправляем, неревърсивен за възбудителната намотка, това дава възможност за двузонно регулиране на мощността и реализиране на закони за управление при постоянен момент при ниски скорости и при постоянни мощности в останалата част на диапазона.

Електрическото задвижване КЕМТОР е с диапазон на номинална мощност $5,5 \div 55$ kW, диапазон на регулиране 1:1000, безтрансформаторно захранване и реверсиране чрез котвата.

Системата КЕМРОС е с диапазон на мощността $3,7 \div 70$ kW, диапазон на регулиране 1:1000, безтрансформаторно захранване и реверсиране чрез котвата, с възможности на работа с повишени максимални скорости и ограничаване на ускоренията.

III. Електрически задвижвания на механизмите на подавателните движения на ММ

Произвеждани у нас и прилагани са главно следните:

1. КЕМТОК: използва се за независимо управление на две координати с диапазон на момента $7 \div 23$ Nm и на скоростта 1:10 000.

2. КЕМРОН: с диапазон на момента $7 \div 100$ Nm и на скоростта 1:10000.

3. КЕМЕК: в два варианта, с диапазон на момента в интервала $7 \div 47$ Nm, на скоростта 1:10000, като позволява ограничаване на момента по външен аналогов или релесен сигнал.

IV. Програмно управление на ММ

В масовото и едросерийното производство, където се използват автомати и полуавтомати, специални и агрегатни ММ и автоматични линии има висока степен на автоматизация. В дребносерийното и единичното производство, а също и в едросерийното, когато често се сменят обектите на производството, не е целесъобразно да се използват високопроизводителни специални ММ. За автоматизирането на този вид производства са необходими високопроизводителни автоматизирани ММ, които в същото време да притежават и качества на универсалните – по-точно да дават възможност за бърза смяна на обекта на производството. Такива са металорежещите машини с програмно управление.

Понятието „*програмно управление*“ означава, че управлението се извършва по точна, предварително зададена програма. Програмното управление е вид автоматично управление на обекти (обработващи машини и измервателни устройства) осъществяващи многотактови цикли, което позволява бързо и лесно пренастройване на работата на възлите и устройствата, траекториите, режимите на работа и други параметри на процесите. Системите за програмно управление използват универсално стъпково управляващо устройство.

Думата „*универсално*“ означава следните две неща:

- устройството е проектирано специално за машини от даден вид, но чрез програмиране от технолога, може да бъде настроено да управлява обработването на всички детайли от даден клас.
- устройството е проектирано за управление на широк клас обекти и чрез програмиране от конструктора може да бъде пригодено да управлява обекти от даден вид. Пример: стругове.

Думата „*програмируемо*“ означава, че за пригаждане за конкретни задачи не се налага преустройство на кинематичните и електрически вериги, а е достатъчно да се заменят, въведат или наредят в определена последователност необходимият брой еднотипни програмиращи елементи, програмиращи команди или програмни сигнали.

Думата „*стъпково*“ означава че управляващото устройство преминава през последица последователни определени състояния (стъпки) и само при тези състояния се предават командите за осъществяване на поредният такт на обекта.

Всяка програма за управление съдържа два вида информация:

- размерна – големината на отделните ходове от цикъла;

- командна – това са команди, определящи последователността на отделните ходове във времето.

Според начина на задаване на размерната информация всички системи за програмно управление се делят на два класа: нецифрови и цифрови.

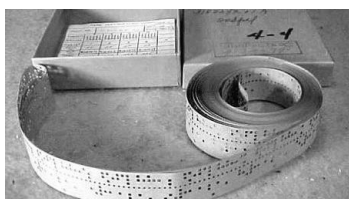
Вместо терминът „нецифрово програмно управление“ е по-точно да се използва термина „кинематично програмно управление – КПУ“. При КПУ размерната част, големината на ходовете се задава като непрекъсната величина. Контролират се минимален брой положения или състояния на изпълнителните устройства, които се определят чрез настройване на съответни датчици за обратна връзка.

Използват се:

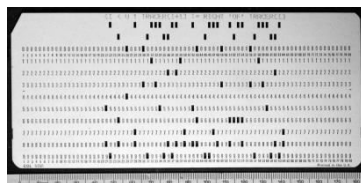
- контактни и безконтактни пътни превключватели (датчици за положение);
- едносигнални и многосигнални датчици за контрол на размерите;
- релета за време и релета за налягане.

В цифровите системи големината на отделните премествания, а също и скоростите на тези движения се задават с помощта на числа. Те са заложени в кодиран вид на някакъв програмоносител:

- перфолента – фиг. 6.1;
- перфокарта – фиг. 6.2;
- магнитна лента – фиг. 6.3;
- памет във вид на електронни чипове.



Фиг. 6.1. Перфолента



Фиг. 6.2. Перфокарта



Фиг. 6.3. Магнитна лента

Табл. 6.1. Основни видове системи за програмно управление

Съкратено означение	Определение
NC	(<i>Number Control</i>) – Цифрово програмно управление. ЦПУ по програма зададена в буквено-цифров код.
HNC	(<i>Hand Number Control</i>) – Цифрово управление с ръчно задаване на програмата от пулт чрез клавиши или превключватели.
SNC	(<i>Speicher NC [Memory NC]</i>) – Разновидност, която има памет за всички управляващи програми.
CNC	(<i>Computer Number Control</i>) – Автоматична система съдържаща процесор за изпълнение на основните функции на управлението.
DNC	(<i>Direct Number Control</i>) – Система за управление на група ММ от общ процесор като отделните ММ могат да имат устройства от вида: NC, SNC и CNC.

Закодираната програма върху програмоносителя се прочита и преобразува в електрически импулси (сигнали) за управление на работните органи на ММ.

Особености и предимства:

- един общ компютър може да управлява група от ММ;
- смяната на програмоносителя и пренастройването на ММ за обработване на други детайли става много бързо и евтино.

По предназначение (технологичен признак) системите за програмно управление се делят на:

1) позиционни системи: Управлява се положението на отделните точки на дадена технологична операция, която се извършва чак след позициониране на инструмента или заготовката.

2) координатни системи: Управлява се движението на работните органи по праволинейни цикли, успоредно на координатните оси.

3) контурни системи: Обезпечава сложни траектории на обработване чрез съвместното и взаимно свързано движение на няколко изпълнителни възела.

Съществуват и ММ с ЦПУ за универсално обработване (комплексно позиционно и контурно). Много често много операционните ММ с ЦПУ се означават с буквите МС (*Machining Center* – обработващ център).

V. Цифрово програмно управление – ЦПУ

При ММ с ЦПУ информацията за работа се задава във вид на числа. На всяка единица информация съответства определено дискретно преместване на изпълнителен механизъм.

Големината на това преместване се нарича разрешаваща способност на системата или цена на импулса. В сила е следната зависимост:

$$N = \frac{L}{q}$$

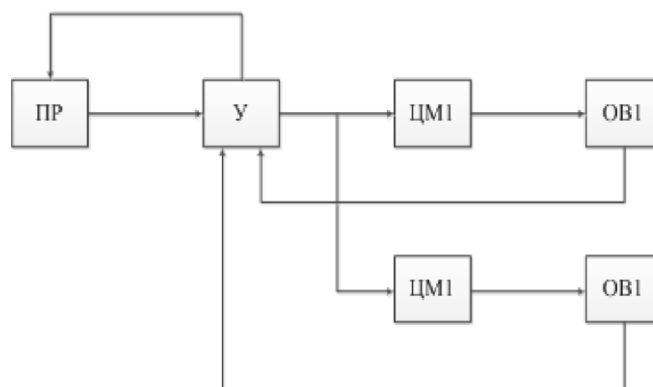
където:

- N – необходим брой импулси на входа на задвижването;
- L – големина на необходимото преместване на изпълнителния орган;
- q – цена на импулса.

С буквите X , Y и Z се означават преместванията по съответните оси. Буквата T се използва за номер на инструкцията. Буквата F означава (задава) скорост на подаването. Буквата S указва зададената честота на въртене на главното движение.

1. Система за ЦПУ

Окрупнено (опростено) системата за ЦПУ на ММ може да се представи като състояща се от отделни блокове (фиг. 6.4).



Фиг. 6.4. Блокова схема на система за ЦПУ на ММ

Информацията се въвежда в програмен блок ПР, където се запомня. Това става с помощта на устройства, разчитащи програмата, ако тя е записана на някакъв програмоносител.

Блокът за управление У управлява, контролира и преобразува потоците информация. В съответствие с информацията, постъпваща от програмата, обратните връзки или други възможни източници на информация този блок непосредствено управлява целевите механизми ЦМ1 и ЦМ2. Те извършват основните спомагателни движения, необходими за цикъла. Ролята на възлите за обратна връзка ОВ1 и ОВ2 е да измерват действителните премествания и скорости на целевите механизми, да ги преобразуват в съответни сигнали за обратна връзка и изпращат в управляващия блок.

2. Целеви механизъм

Във всяка ММ броят на целевите механизми може да бъде различен. Обикновено в структурната схема на целевия механизъм електрически двигател е източник на енергия, която се преобразува в предавка и се подава на изпълнителен орган (маса, супорт, вретено).

В зависимост от това, дали има или не обратна връзка, системите се делят на отворени или затворени (без или с обратна връзка).

Броят на координатите, по които се извършва управление, се задават подробно: $2/1$; $2/2$; $3/1$; $3/2$; $3/3$; $4/3$; $4/4$, където числителят показва броя на управляемите координати, а знаменателят – броя на едновременно управляемите координати.

Тема 7. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ И СХЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ С ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Производствените процеси в масовото и едросерийното производство, където се използват автомати и полуавтомати, специални и агрегатни ММ и автоматични линии, имат висока степен на автоматизация. В дребносерийното и единичното производство, а също и в едросерийното, когато често се сменят обектите на производството, не е целесъобразно да се използват високопроизводителни специални ММ, предназначени за обработване на точно определени детайли. За автоматизирането на този вид производства са необходими високопроизводителни автоматизирани ММ, които в същото време да притежават и качества на универсалните – по-конкретно да дават възможност за бърза смяна на обекта на производството. Такива са ММ с програмно управление.

Понятието "програмно управление" означава, че управлението се извършва по точна предварително зададена програма. В този смисъл може да се смята, че всички автоматични машини, които работят по точно установена програма, са програмни. Обаче под понятието "ММ с програмно управление" е прието да се разбират само такива ММ, които позволяват заместване на програмата чрез сменяне на програмоносителя. Програмното управление може да бъде пълно или частично. Всеки цикъл от своя страна се характеризира с големината на отделните ходове и тяхната последователност. Следователно, програмата за управление в най-общ смисъл трябва да съдържа два вида информация: размерна (големината на отделните ходове на цикъла) и команди, които определят последователността на отделните ходове във времето.

На фиг. 7.1. (а и б) е дадена схемата за управление на български полуавтоматичен струг с програмно управление. Функционално схемата на струга може да се раздели на четири отделни блока, които работят съвместно и обменят сигнали помежду си: блок за цифрово програмно управление на ММ (ЦПУ); регулаторни блокове за управление на подавателните задвижвания; припасваща част на системата за управление към изпълнителните и управляващите органи на ММ; блок на самите изпълнителни органи.

Всеки блок изпълнява определени задачи в ММ.

1) ЦПУ е изпълнено на базата на микропроцесорна система. Главна нейна задача е превръщането на въведена в паметта ѝ програма за обработване на определен детайл (заготовка) в поредица от управляващи сигнали, подавани чрез припасващата част към изпълнителните органи на ММ. Така се изпълнява завършен цикъл на обработване на детайл с голяма точност. Наред с това системата има редица допълнителни възможности. Въведените в паметта програми могат да бъдат редактирани и проверявани, като това се извършва изречение по изречение чрез пулта за

индикация и редактиране. Програмите за отделните обработки могат да бъдат въведени и ръчно на място чрез клавиатура. Освен всичко изложено дотук ЦПУ сигнализира за аварийни състояния на ММ и то по такъв начин, че съответната повреда може лесно да се локализира и отстрани. Чрез пулта за управление на ММ чрез ЦПУ се осъществява и диалогът човек-машина.

2) Регулаторните блокове получават на своя вход сигнал, пропорционален на скоростта, с която трябва да се извършва преместването по съответната ос. Всеки регулатор има за задача да преобразува този сигнал в захранващо напрежение за даден електрически двигател и да поддържа неговата скорост постоянна и пропорционална на управляващия входен сигнал. При това никакви смущаващи фактори от рода на натоварване не трябва да влияят на този процес.

3) Припасващата част на ММ усилва всички управляващи сигнали от ЦПУ и ги превръща в силови захранващи напрежения, чрез които директно се управляват изпълнителните органи на машината. Припасващата част обхваща както релейно-контакторните схеми, така и всички индикаторни лампи и бутони. Към припасващата част спадат и различните датчици, разположени по ММ.

4) Изпълнителните органи извършват всички операции, необходими за правилното обработване на детайлите (заготовките). Към тях спадат всички електрически двигатели, електромагнитни съединители и хидравлични разпределители.

Основният блок на ММ – ЦПУ е реализиран от две взаимосвързани части: схемна част и програмна част. Схемната част е изпълнена, както и повечето микропроцесорни системи, на базата на четири съставни части. Микропроцесорът 1 (на фиг. 7.1. а) е „сърцето“ на системата. В оперативната памет 2 се съхраняват всички програми за обработване на детайлите (заготовките). В постоянната памет 3 се съхраняват алгоритмите за интерпретиране и изпълнение на всяко изречение от съхраняваната в оперативната памет детайл-програма. Там също така са записани и програмите за реагиране на машината при аварийни състояния. Постоянната памет на ММ е реализирана с EPROM.

Благодарение на програмируемия контролер релейно-контакторната схема е значително опростена. Сигналите от него включват маломощни релета, захранвани с постоянно напрежение 24 V.

Силовите контакти на контакторите командват електрическите двигатели и електромагнитните съединители по ММ. Електрическите двигатели са защитени от къси съединения и претоварване чрез автоматични термични защиты. Разположените по схемата релета са означени с KV, контакторите с KM, термичните защиты с QF, а електромагнитните съединители с UC.

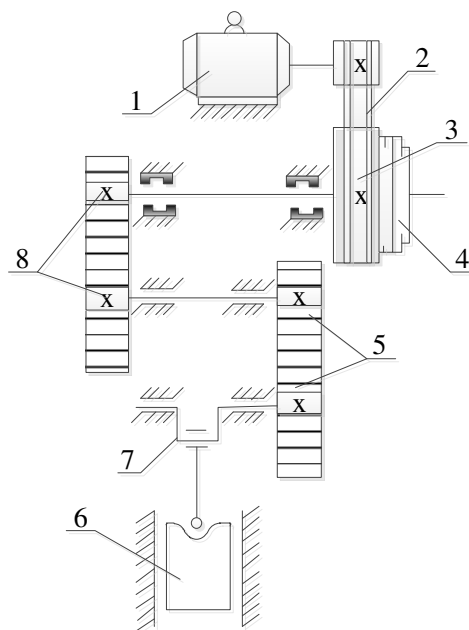
Тема 8. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ, КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕТО НА КОВАШКО-ПРЕСОВИ МАШИНИ

I. Общи сведения за ковашко-пресовите машини

Ковашко-пресовите машини (КПМ) са предназначени за обработване на металите чрез деформация. Най-голямо разпространение са получили коляно-мотовилковите, винтовите и хидравличните КПМ.

1. Коляно-мотовилкови ковашко-пресови машини

Кинематичните схеми на този вид КПМ могат да бъдат най-разнообразни, но всички те имат колянов вал, мотовилка и плъзгач. На фиг. 8.1. е показана кинематична схема на коляно-мотовилков механизъм.



Фиг. 8.1. Кинематична схема на коляно-мотовилков механизъм на КПМ

Въртеливото движение от електрическият двигател 1 посредством клиноремната предавка 2 се предава на маховика 3, а след него чрез соединителя 4 и зъбните предавки 5 и 8 – на коляновия вал 7. Въртеливото движение чрез коляно-мотовилковия механизъм се преобразува в постъпателно движение на плъзгача 6.

Тези КПМ могат да имат два режима на работа: автоматичен режим и режим на единичен ход.

При автоматичния режим на работа липсват паузи между отделните ходове на работния орган (т.е. соединителят се включва само един път в началото на работата, след което не се изключва). Такъв режим на работа е възможен, само ако подаването на заготовката и отделянето на получения детайл става за времето на един пълен ход на работния орган. При режим на единичен ход след изпълнението на работната операция и достигане на плъзгача в горна мъртва точка соединителят изключва коляно-мотовилковия механизъм от електрическият двигател, след което следва пауза. По време на паузата се отделя полученият при обработването детайл и се

подава следващата заготовка, след което съединителят се включва отново и се изпълнява работният ход.

Като показател за интензивността на работа на КПМ в режим на единичен ход се използва коефициентът на използване на ходовете:

$$k_{\text{ни}} = \frac{i_{\text{ед}}}{i_{\text{ном}}}$$

където:

- $i_{\text{ед}}$ – брой на единичните ходове в минута;
- $i_{\text{ном}}$ – номинален брой ходове в минута.

Характерна особеност за този вид КПМ е ударният цикличен характер на натоварването. Големината на съпротивителния момент при изпълнението на технологичната операция може да превиши десетки пъти средния съпротивителен момент за цикъла на работа.

Тази особеност налага електрозадвижването на КПМ да се снабдява с маховик, т.е. изкуствено да се изравнява натоварването.

2. Винтови ковашко-пресови машини

Към тях се отнасят технологичните КПМ, в които енергията на задвижването се преобразува в полезна работа посредством винтов работен механизъм.

Според типа на предавателния механизъм те се наричат фрикционни, електровинтови или хидровинтови.

За движението на винта при фрикционните КПМ се използва въртящият момент на триене M , който се създава по периферията на маховика, натискана от водещия елемент на фрикционния предавателен механизъм.

За да се избегне прекомерното износване на фрикционните материали при рязко спиране на плъзгача по време на деформирането на изковката, водещите елементи на предавателния механизъм на фрикционната КПМ се отстраняват от маховика и деформирането се осъществява от кинетичната енергия на работните части, натрупана до момента на отделянето на дисковете. Тази кинетична енергия се определя с изрази:

$$E_{\text{к}} = E_v + E_{\omega} = \frac{mv^2}{2} + \frac{J_1 \omega^2}{2}$$

където:

- E_v и E_{ω} – са съответно кинетичните енергии на постъпателно движещите се и на въртящите се части;
- m и J_1 – масата на постъпателно движещите се части и осевият инерционен момент на въртящите се части.

Връзката между ъгловата скорост ω и линейната v е:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{t} v$$

където: t – стъпка на ходовия винт.

Електровинтовите КПМ могат да бъдат с пряко безредукторно или с електромеханично редукторно задвижване. При пряко безредукторно

задвигване въртящият момент на електромагнитното поле действа непосредствено на маховика, за какъвто служи роторът на специален електрически двигател. При КМП с електромеханично редукторно задвигване въртящият момент се предава от един или няколко електрически двигателя с помощта на зъбни предавки.

3. Хидравлични ковашко-пресови машини

При тях се използва хидрозадвижване, състоящо се от устройство за преобразуване на входната механична енергия на електрическия двигател и помпата в изходна енергия на работната течност и предаването ѝ на работния изпълнителен механизъм (хидродвигател) на КМП за извършване на механична работа в съответствие със зададения ѝ машинен технологичен цикъл на работа.

II. Основни сведения за кинематиката и динамиката на електрозадвигването на КМП

Голяма част от КМП имат коляно-мотовилков механизъм (фиг. 8.2).

Основният параметър на коляно-мотовилковия механизъм е коефициентът:

$$\lambda = \frac{r}{l} < 1,$$

където

- r – радиус на коляното;
- l – дължина на мотовилката.

Обикновено коефициентът $\lambda = 0,05 \div 0,45$.

Желаната деформация на обработвания предмет се получава при преместване на плъзгача в крайно долно положение – точка Б (фиг. 8.2).

Съгласно фиг. 8.2 връзката между преместването на плъзгача s и ъгъла на завъртането на коляновия вал α е:

$$s = r(1 - \cos\alpha) + l \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\alpha} \right)$$

Тук ъгълът α се отчита в посока, обратна на движението на коляновия вал, като за начало се приема точка Б.

Ако се предположи, че $l \gg r$, то горната формула добива следния опростен вид:

$$s' = r(1 - \cos\alpha) + \frac{r \cdot \lambda}{2} \sin^2\alpha$$

Ако пък се положи, че $l = \infty$, получава се удобната за изчисления формула:

$$s'' \approx r(1 - \cos\alpha)$$

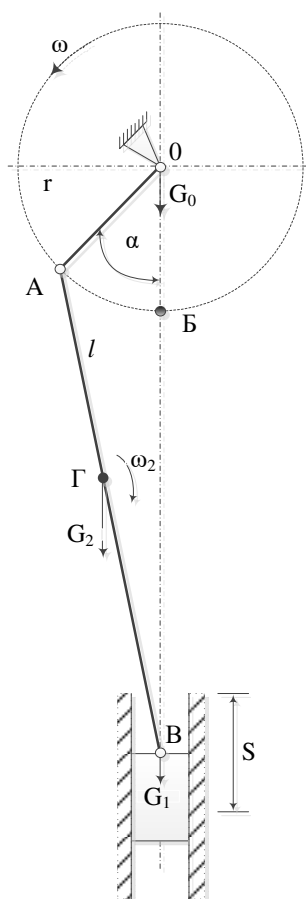
Пълният приведен към коляновия вал инерционен момент на всички движещи се части е:

$$J = J_0 + m_1 \frac{v_1^2}{\omega^2} + m_2 \frac{v_2^2}{\omega^2} + m_2 p^2 \frac{\omega_2^2}{\omega^2}$$

където:

- J_0 – инерционен момент на въртящите се части;
- ω – ъглова скорост на въртене на коляновия вал;

- m_1 – маса на възвратно-постъпателно движещите се части (плъзгач и инструмент);
- v_1 – скорост на движение на части с маса m_1 ;
- m_2 – маса на мотавилката АВ;
- v_2 – скорост на движение на центъра на тежестта на мотавилката (точка Г, фиг. 8.2);
- ω_2 – ъглова скорост на мотавилката относно точка Г;
- r – инерционен радиус на мотавилката.



Фиг. 8.2. Схема на централен коляно-мотавилков механизъм

Като се отчете, че $m_1 \gg m_2$, могат да се пренебрегнат последните два члена в горния израз и за приведения инерционен момент се получава

$$I = I_0 + m_1 \frac{v_1^2}{\omega^2}$$

Инерционният момент на въртящите се части е:

$$I_0 = \frac{G_0 d^2}{4g}$$

където:

- G_0 – теглото на въртящите се около оста 0 части на механизма;
- $d=2r$
- g – земното ускорение, $g=9,81 \text{ m/s}^2$.

Кинетичната енергия на постъпателно движещите се части $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ се приравнява на еквивалентна по големина кинетична енергия на фиктивна маса върху коляновия вал с инерционен момент:

$$J_{\Phi} = m_1 \frac{v_1^2}{\omega^2} = \frac{G_1}{g} \cdot \frac{v_1^2}{\omega^2}$$

където $\frac{G_1}{g}$ е фиктивно съсредоточена маса върху окръжността, по която се върти коляното с диаметър d .

Изразът за скоростта v_1 се получава, като се диференцира преместването на плъзгача s спрямо времето t :

$$v_1 = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \omega \cdot \frac{ds}{d\alpha}$$

Използването на приблизителни формули при изследване на динамиката на електрозадвижването може да доведе до грешни резултати, т.к. производната на приближени функции често не отразява истинския характер на производната от точната функция.

За големината на пълния инерционен момент, приведен към коляновия вал, може да се напише:

$$J_{\Sigma} = J_0 + J_{\Phi}$$

Чрез последователно поставяне на стойностите на v_1 и извършване на няколко преобразувания се получават зависимости за $J = f(\alpha)$.

Уравнението на движение на електрозадвижването при променлив инерционен момент е

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega dJ}{2dt} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ_{\Sigma}}{d\alpha}$$

където:

- $M_d = f(\omega)$ – двигателният момент;
- $M_c = f(\alpha)$ – статичният съпротивителен момент, приведен към вала на електрическия двигател;
- J_{Σ} – пълният инерционен момент на механизма, приведен към вала на електрическия двигател.

Решението на уравнението на движението е възможно само при приблизителни графични методи. Най-точно решаване се получава с използване на изчислителна техника.

При практическите изчисления и изследвания често се приема, че $J = \text{const.}$ и уравнението на движението приема вида:

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

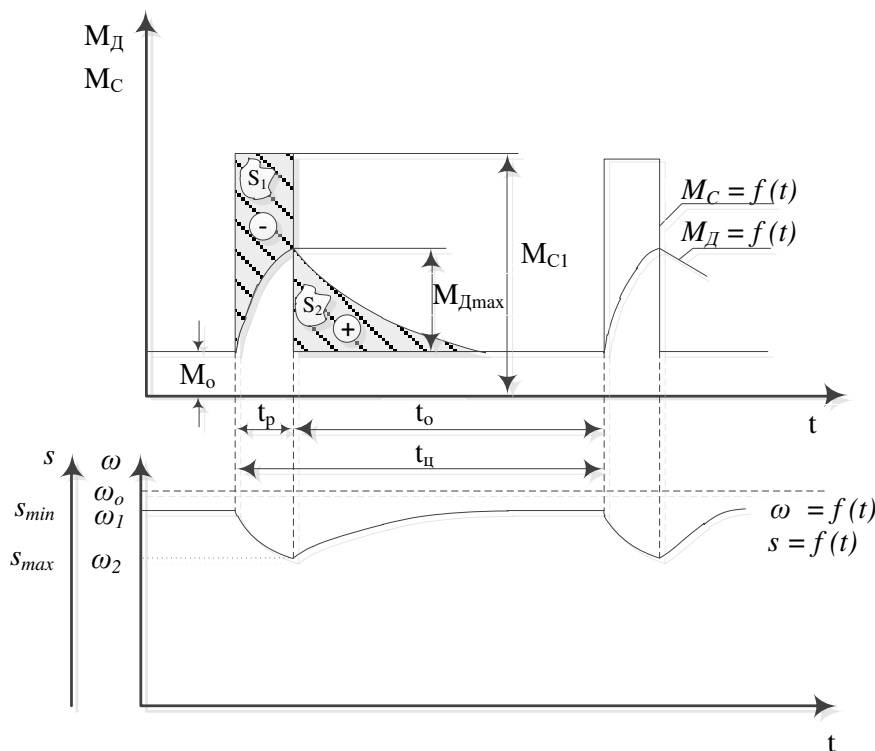
Тема 9. ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С МАХОВИК. ОСОБЕНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА И ОРИЕНТИРОВЪЧЕН ИЗБОР НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО НА КОВАШКО-ПРЕСОВИ МАШИНИ. ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО НА КОВАШКО-ПРЕСОВИ МАШИНИ

I. Общи сведения

Характерна особеност в работата на коляно-мотовилковите КПМ е рязко изразеният ударен характер на товара. На фиг. 9.1 е показан опростен график на работа на електрозадвижването на КПМ с ударно натоварване при автоматичен режим. Големината на съпротивителния момент M_{c1} по време на изпълнението на технологичната операция t_p може да превишава значително средния съпротивителен момент за цикъла на работа t_{Π} , докато продължителността му е много малка. След завършването на работната операция съпротивителният момент рязко намалява до стойност M_0 .

Ако изберем електрически двигател за момент M_C , той ще е с определена мощност, но тя ще се използва кратко време $t_{\text{раб}}$, вследствие на което ще са влошени к.п.д. и $\cos\varphi$.

За изравняване на натоварването на електрозадвижването на такива машини най-често се използва маховик. Физическият смисъл на работата на системата двигател-маховик се разбира много добре чрез графиката на фиг. 9.1, където за опростяване е приет двустъпален и правоъгълен товаров график.



Фиг. 9.1. Опростен график на работа на електрозадвижването на КПМ с ударно натоварване при автоматичен режим

При изпълнението на работната операция електрическият двигател се натоварва в интервала $M_0 \div M_{0\max}$, като неговата скорост, а следователно и скоростта на маховика намалява от ω_1 до ω_2 и той съгласно основното уравнение на движението:

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

отдава част от своята кинетична енергия и помага на електрическият двигател да преодолее натоварването. По време на празния ход t_0 електрическият двигател наново зарежда маховика с кинетична енергия. Защрихованата част от графиката със знак „-“ съответства на отдадената от маховика енергия по време на работния период t_p , а със знак „+“ енергията, която електрическият двигател отдава на маховика за неговото зареждане по време на празния ход t_0 , от това следва, че: $S_2 \geq S_1$. Обикновено частта от работата, която маховикът извършва, е по-голяма от тази на електрическият двигател.

При използването на маховик е възможно да се намали мощността на електрическият двигател средно от 6 до 10 пъти в сравнение с безмаховиковото задвижване.

Отдадената кинетична енергия от маховите маси по време на работната операция се определя чрез израза:

$$\Delta E = E_{k1} - E_{k2} = \frac{1}{2} J_E \omega_1^2 - \frac{1}{2} J_E \omega_2^2 = \frac{1}{2} J_E (\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

където:

- J_E – пълният (на електрическият двигател, КПМ и маховика) инерционен момент, приведен към вала на електрическият двигател;
- ω_1 и ω_2 – скоростта на електрическият двигател, съответно в началото и края на работната операция.

Най-добро използване на маховика се получава, ако характеристиката на електрическият двигател бъде „достатъчно“ мека, т.е. $\omega_1 - \omega_2$ да бъде „достатъчно“ голяма. Но колко? Ако скоростта в процеса на работната операция се изменя от ω_1 до ω_2 , то относителната големина на отдадената (при $\omega_1 > \omega_2$) кинетична енергия δE ще бъде:

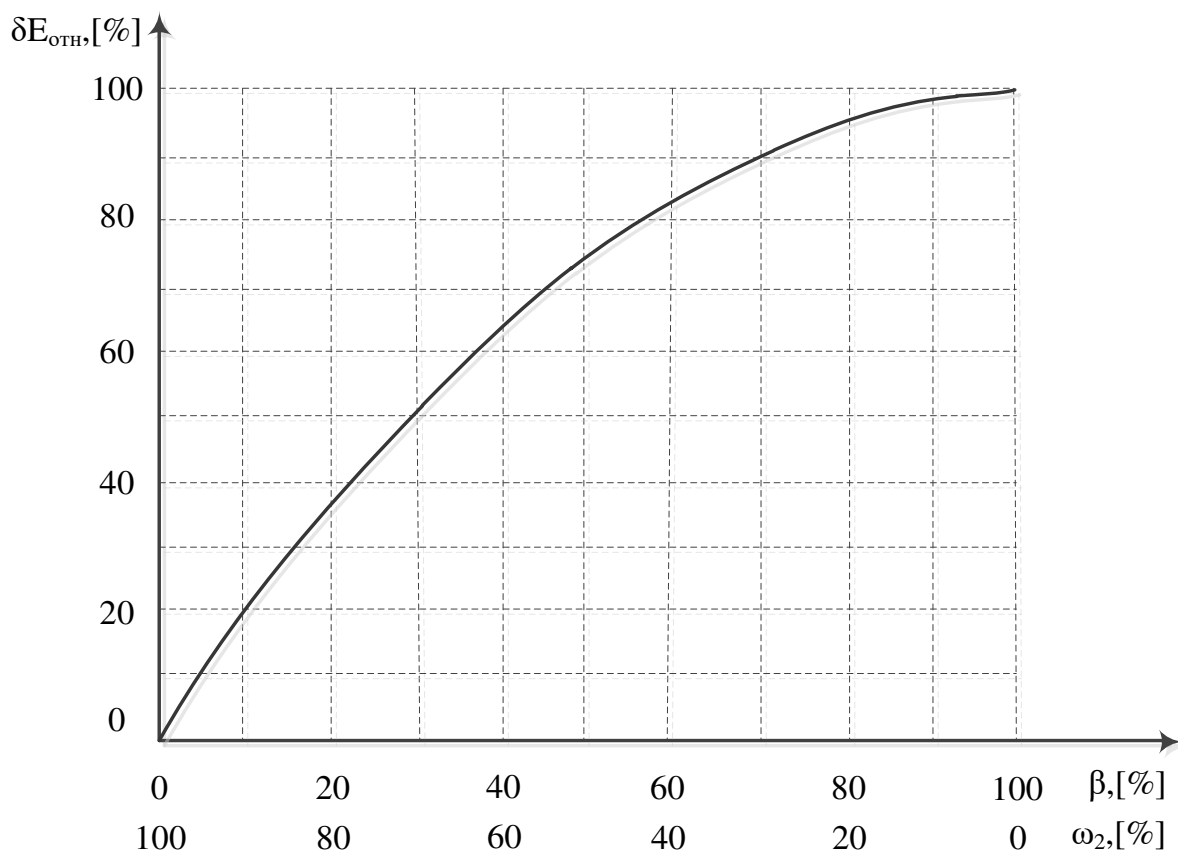
$$\delta E_{\text{отн}} = \frac{E_1 - E_2}{E} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1^2} = 2\beta - \beta^2$$

където:

- E_1 и E_2 – съответно кинетичните енергии на маховите маси преди и след изпълнението на работната операция;
- $\beta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$ – относителното изменение на скоростта.

Тази зависимост е представена графично на фиг. 9.2, от която се вижда, че отдаването (натрупването) на кинетичната енергия не зависи линейно от изменението на скоростта.

Напр., при намаление на скоростта с 10% ($\beta = 10\%$) маховите маси отдават 19% от кинетичната си енергия (K_E). При намаление на скоростта при 20% ($\beta = 20\%$) маховите маси отдават 35% от K_E . При 50% ($\beta = 50\%$) => 75% от K_E , а за последните 10% отдават 1% от K_E . Поради това на практика не се използва понижаване на скоростта повече от (20 ÷ 25)%.



Фиг. 9.2. Зависимост на отдадената относителна кинетична енергия спрямо изменението на скоростта

Увеличаването на отдадената от маховите маси енергия може да стане по три начина:

$$J_{\Sigma} = J_d + J_{\text{кпм}} + J_{\text{max}}$$

1. Увеличаване на инерционния момент на маховика

Този метод е неприемлив, т.к. води до увеличаване на разхода на метал и на време, необходимо за развъртане на маховите маси до първоначалната скорост – ω_1 ;

2. Намаляване на скоростта ω_2 в края на работната операция

Съгласно фиг. 9.2 този метод също не е много целесъобразен. При големи разлики между ω_1 и ω_2 се намалява средната честота на въртене на електрическия двигател:

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2},$$

а оттам и производителността. Освен това с намаляването на ω_2 се увеличават загубите и габаритите на електрическите двигатели. При този метод най-често се използват АДНСР и повишено хлъзгане ($s_n = 7 \div 15\%$), а така също и АДНР.

3. Увеличаване в началото на всеки цикъл на скоростта на електрическия двигател ω_1

Този метод е най-целесъобразен, ефективен и икономичен. При него е необходимо да се обезпечи регулиране на скоростта на електрическия двигател. Най-целесъобразно е да се използва честотното регулиране на скоростта на електрическия двигател, т.к. при увеличаване на честотата на захранващото напрежение се увеличава неговата синхронна скорост, а оттам и ω_1 . При такова регулиране даже и при малко време за работа на празен ход t_0 се постига форсирано увеличение на скоростта.

При използването на регулируемо електрозадвижване на КПМ се постига:

- по-добро използване на електрическия двигател по време на празния ход t_0 , т.е. обезпечаване на неговото равномерно натоварване;
- намаляване на инерционния момент на маховика, а оттам и икономия на метал;
- повишаване на производителността на КПМ за сметка на увеличението на средната скорост.

Използването на регулируемо електрозадвижване в КПМ ги оскъпява с $5 \div 15\%$ от общата стойност, но допълнителните разходи бързо се откупват от повишаването на производителността.

II. Особености при определянето на мощността на задвижването на КПМ

Основните изисквания, които се предявяват към съвременните КПМ, са:

- висока производителност;
- сигурност;
- дълготрайност;
- висок к.п.д.;
- ниска цена;
- технологичност при изработването.

Удовлетворяването на тези изисквания до голяма степен зависи от правилното определяне на параметрите на главното електрозадвижване.

В последователността от етапи на проектиране на КПМ изчисляването на електрозадвижването се предхожда от определянето на кинематичните и силовите данни: теглата и инерционните моменти на всички въртящи се и движещи се части, мястото в кинематичната верига, където се поставя

маховикът и неговата ъглова скорост, предавателното число на предавките, графикът на натоварването и др.

Важен показател, който оказва решаващо влияние върху динамичните процеси на електрозадвижването, е електромеханичната времеконстанта:

$$T_m = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H} \cdot S_H$$

където:

- J – общ инерционен момент на целия механизъм;
- ω_0 – синхронна ъглова скорост на електрическия двигател;
- M_H – номинален момент на електрическия двигател;
- $S_H = \frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0}$ – номинално хлъзгане на електрическия двигател.

Съгласно горната формула теоретически съществуват безкрайно много двойки маховици ($J = var$) и електрически двигатели ($S_{ном}, M_{ном} = var$), които удовлетворяват изискването за работа на КПМ. На практика се получава известно ограничение от номенклатурата на произвежданите електрически двигатели. Окончателният избор на оптималния вариант „електрически двигател-маховик“ се извършва на базата на конструктивни и икономични съображения.

III. Ориентировъчен избор на параметрите на електрозадвижването на КПМ

Известно е, че при увеличаване на електромеханичната времеконстанта T_m на електрозадвижването натоварването на електрическия двигател за цикъла на работа се изравнява. Нека T_m се увеличава за сметка на увеличаването на инерционния момент на маховика. При маховик с безкрайно голям инерционен момент натоварването на вала на електрическия двигател ще се изравни, като моментът му ще се стреми към средния съпротивителен момент $M_{ср}$.

В реални условия при обикновено използваните маховици натоварването на вала на електрическия двигател не се изравнява напълно и номиналният му момент, определен по условие на допустимо претоварване и нагряване, се отличава от $M_{ср}$.

При ориентировъчните изчисления номиналният момент на електрическия двигател се избира близък до $M_{ср}$ и решението на задачата става еднозначно. Той обикновено се определя по формулата:

$$M_H = k \cdot M_{ср}$$

където: $k = 1,1 \div 1,3$ е коефициент на запаса (големите стойности се вземат при по-значителни колебания на натоварването).

За определянето на $M_{ср}$ е необходимо да се разполага с товаровата диаграма на КПМ, а именно: с $M_c = f(t)$ или $M_c = f(\alpha)$. От нея се определя:

$$M_{ср} = \frac{\int_0^{t_{ц}} M_c \cdot dt}{t_{ц}} \quad \text{или} \quad M_{ср} = \frac{\int_0^{2\pi} M_c \cdot d\alpha}{2\pi}$$

При двустъпален правоъгълен график (фиг. 9.1):

$$M_{cp} = \frac{M_{c1}t_p + M_o t_o}{t_{\Sigma}}$$

Мощността, по която се избира електрическият двигател [kW], е:

$$P_n = M_n \cdot \omega_n \cdot 10^{-3},$$

където се предполага, че: $\omega_n \approx \omega_{cp}$, $\left[\omega_{cp} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\right], rad/s$.

След като се избере от каталога стандартен електрически двигател, се изчислява неговият номинален момент M_n' с помощта на следния израз:

$$M_n' = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n}{2\pi \frac{n_n}{60}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9,554 \cdot \frac{P_n}{n_n}$$

Върху товаровата диаграма на производствения механизъм успоредно на абсисната ос се нанася линията $M = M_n'$ (фиг. 9.3) и се определя площта ΔE . Тази площ е равна на енергията, отдавана от маховите маси:

$$\Delta E = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{max}^2}{2} - \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{min}^2}{2}$$

където:

- J_{Σ} – общият инерционен момент, приведен към вала на електрическия двигател;
- $\omega_{max}, \omega_{min}$ – са съответно най-голямата и най-малката ъглова скорост на електрическия двигател.

След преобразуване на горния израз се получава:

$$\Delta E = J_{\Sigma} \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2} \cdot \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{2} \omega_{cp} = J_{\Sigma} \cdot \omega_{cp}^2 \cdot j$$

където: $\omega_{cp} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}$

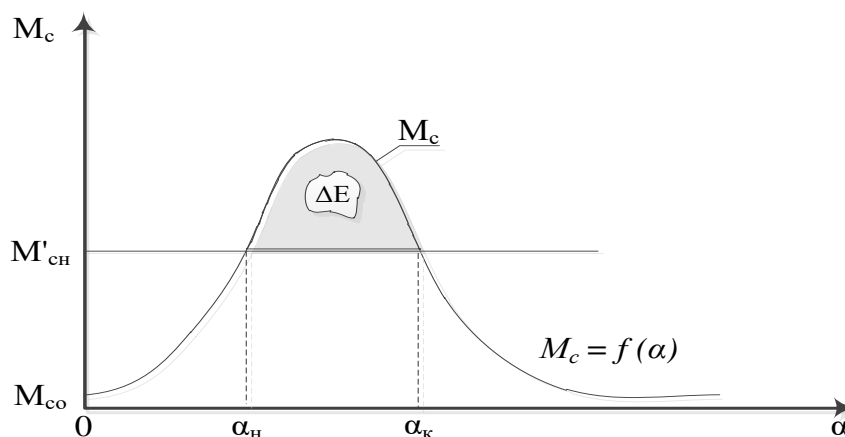
$$j = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{2} - \text{коефициент на неравномерност}$$

Тогава:

$$J_{\Sigma} = \frac{\Delta E}{\omega_{cp}^2 \cdot j}$$

Ако инерционният момент J_{Σ} се замени чрез маховия момент GD^2 , ъгловата скорост ω (rad/s) – чрез оборотите ($\min^{-1}$), се получава удобната за практически изследвания формула:

$$GD_{\Sigma}^2 \approx \frac{36 \cdot 10^2 \cdot \Delta E}{n_{cp}^2 \cdot j}$$



Фиг. 9.3. Определяне на енергията, отдавана от маховите маси

И този GD_{Σ}^2 е маховият момент на цялата система на електрозадвижването, приведен към вала на електрическия двигател и е равен на:

$$GD_{\Sigma}^2 = GD_{\text{д}}^2 + GD_{\text{мех}}^2 + GD_{\text{мах}}^2$$

където:

- $GD_{\text{д}}^2$ – махов момент на електрическия двигател;
- $GD_{\text{мех}}^2$ – приведен махов момент на механизма;
- $GD_{\text{мах}}^2$ – приведен махов момент на маховика.

И от горния израз се получава:

$$GD_{\text{мах}}^2 = GD_{\Sigma}^2 - GD_{\text{д}}^2 - GD_{\text{мех}}^2$$

Коефициентът на неравномерност при ориентировъчните изчисления се задава ($j=0,1 \div 0,2$). В действителност j зависи от параметрите на електрозадвижването и вида на натоварването. Колкото е по-неравномерно натоварването, толкова по-голям трябва да се взема коефициентът на неравномерност j .

След ориентировъчния избор на електрическия двигател и маховика следва да се провери достатъчно ли е времето за работа на празен ход t_0 , за да се развърти маховикът от скорост $\omega_{\min}$ до $\omega_{\max}$, т.е. за зареждане на маховика. За това е необходимо да се провери удовлетворява ли се неравенството

$$t_0 \geq (4 \div 5) T_{\text{м}}$$

където $T_{\text{м}}$ е електромеханична времеконстанта на електрозадвижването.

$$T_{\text{м}} = \frac{J \cdot \omega_1}{M_{\text{н}}} \cdot s_{\text{н}}$$

IV. Изисквания към електрообзавеждането на КПМ

Общите изисквания към електрообзавеждането на КПМ са:

- да обезпечава изпълнение на технологичните операции;
- да осигурява безопасност и удобство при работата;

- да обезпечава висока производителност и качества на произвежданата продукция.
- да притежава висока експлоатационна сигурност.

Тези общи изисквания се явяват като основа при проектирането и монтажа на електрообзавеждането на КПМ.

По-голямата част от КПМ работят в няколко режима:

- 1) автоматичен режим (няма паузи между отделните ходове);
- 2) режим на единичен ход (с управление от пусков бутон или електропедал).
- 3) режим-настройка.

Схемата за управление трябва да осигурява изпълнение на отделните режими, като превключването от един на друг режим става от пулта за управление. Превключвателят за различните режими на работа трябва да позволява „заклучване“, за да не се допускат нежелателни превключвания. Освен това върху пулта за управление трябва да има светлинна сигнализация, показваща избрания режим на работа и наличието на напрежение в оперативната верига, а в някои случаи и това, че главният електрически двигател работи.

От изискването за безопасност много често се налага системата за управление така да бъде изградена, че да позволява включване на работния ход само с помощта на двете ръце на обслужващия оператор. По такъв начин се предпазват ръцете на оператора от евентуални травми. В този случай двата бутона за управление се поставят на разстояние един от друг, не по-малко от 300 mm и не повече от 600 mm.

За защита на операторите от травми много често се използват и фотоелектрически устройства. Тяхната задача е да не допускат включване на пресата, когато в опасната зона се намират ръцете на оператора, или веднага да спират движението на плъзгача при появяване на ръка или други предмети в опасната зона. Тук трябва да се има пред вид, че спирането на движението на плъзгача става с някакво закъснение, поради което тази защита не винаги е достатъчно ефективна. Обикновено при преси с повече от 30 хода в минута тази защита се избягва. Ако за управлението на една машина се разполага с електропедал с бутони за управление, възможността за едновременното им използване трябва да бъде изключена. За предотвратяване на нежелателни включвания на машината по време на ремонт, прегледи и др. педалите и бутоните трябва да бъдат снабдени с блокировки. Също така системата за управление не трябва да допуска самопроизволно включване на съединителите и спирачките, а спирането не трябва да зависи от наличие на електрозахранване.

За осъществяване на операциите за настройка в големите КПМ се използват маломощни електрозадвижвания. В такива случаи системата за управление трябва да има блокировки, непозволяващи едновременна работа на главното електрозадвижване и микрозадвижването. Отделно електрозадвижване се използва и за регулиране на междущамповото пространство. В този случай схемата за управление не трябва да разрешава пускане на пресата по време на регулирането.

Тема 10. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ, ВИДОВЕ ТРАНСПОРТЪОРИ, ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО И ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МОЩНОСТТА НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ ЗА МЕХАНИЗМИТЕ ЗА НЕПРЕКЪСНАТ ТРАНСПОРТ

I. Общи сведения

Съвременните механизми за непрекъснат транспорт служат за пренасяне на товари в насипно състояние (пясък, пръст, руди, въглища, зърнени храни и др.) или еднородни на парче в масово количество (отливки, машинни детайли, дъски, сандъци и др.). Те са сравнително прости по устройство, обикновено не изискват ръчен труд при товарно-разтоварващите операции и успешно конкурират крановете и друг вид вътрешнозаводски транспорт.

Транспортър (конвейер) се нарича механизмът, който премества товари по определена траектория, посредством непрекъснато механично въздействие, без спиране за товарене и разтоварване.

Предимствата на транспортърите в сравнение с други механизми са:

- просто устройство, включително и електрообзавеждането;
- непрекъснатост и еднотипност на движението;
- възможност за изпълнение на разнообразни технологични операции;
- голяма производителност;
- подходящо звено за пълна автоматизация.

Според типа на работния орган транспортърите се делят на две групи:

1) С гъвкав тягов елемент

Товарът се движи едновременно с тяговия елемент и извършва същото движение. Тяговата сила се предава посредством товароносещите елементи (лента, верига, кошница, кош, пластина) или посредством елементи, които тласкат или теглят товара (куки, захващащи и др.) по неподвижни елементи.

2) Без тягов елемент

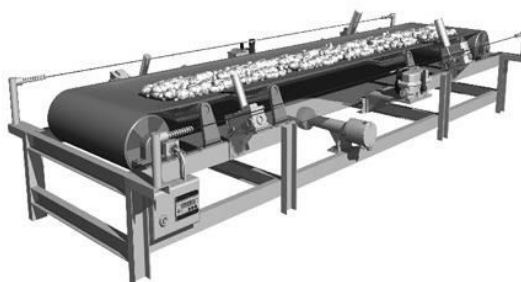
Товарът се движи разделно от работния орган. Работният орган извършва въртливо (ролка, винт) или възвратно-постъпателно движение.

Независимо от това, дали транспортърът е с гъвкав тягов елемент или без тягов елемент, електрообзавеждането не зависи съществено от този конструктивен признак.

II. Видове транспортъри

1. Лентов транспортър (фиг. 10.1)

Най-разпространен от всички видове транспортъри и е предназначен преди всичко на товари в насипно състояние, но също и на парче. Гъвкавият тягов елемент е гумена лента, привеждана в движение от задвижващ барабан. Широчината на лентата е от 0,5 до 2,4 m. Скоростта на движение достига до 3 и повече m/s.



Фиг. 10.1. Лентов транспортър

Производителността на пренасяните товари достига хиляди тонове за час, а дължината им от няколко метра до $2\div 3$ km.

Транспортната лента има различна конструкция в зависимост от предназначението на транспортъора. За обикновени товари тя е гумена с пълнеж от памучна оплетка. При товари с температура до 300°C се използва стоманена неръждаема лента. Задвижването на водещия барабан може да бъде с твърда връзка чрез редуктор или редуктор и верижна предавка. В някои случаи се използва конструкция на електрически двигател – барабан, с което се намаляват общите габаритни размери и с това се облекчава конструкцията на транспортъора.

2. Въжено-лентов транспортър

При големи дължини гумената лента не може да издържа големите тягови сили. Мощността на електрическите двигатели достига няколко хиляди киловата. При такива случаи се използват стоманени въжета за тягов елемент, а гумената лента служи за носещ елемент.

3. Верижно-лентов транспортър

Намира приложение при по-малки дължини. За гъвкав тягов елемент се използват вериги.

4. Пластинчат транспортър

Предназначен е за тежки товари и има малки скорости. Носещата конструкция е направена така, че по нея се движат в затворен кръг платформени плоскости, водени от специални колела специални колела. Като тягов елемент се използват пластинчати тягови вериги.

5. Верижен транспортър (фиг. 10.2)

Гъвкав тягов елемент за вериги, които едновременно носят товарите – дървета, сандъци и др. Когато товарите са много тежки: стоманени профили, тръби и др., веригите служат за водещ елемент, а товарите се придърпват по метална площадка. Верижните транспортъори са удобни за преместване под наклон и товарене на подвижни транспортни средства – камиони, вагони и др.

6. Елеватори (фиг. 10.3)

Пренася насипни товари по вертикални или силно наклонени траектории. Достигат височини $50\div 55$ m, скорост $1\div 3$ m/s и производителност до $500\text{ m}^3/\text{h}$. Тяговият орган е лента, въжета или вериги, на които са закрепени кофички.



Фиг. 10.2. *Вериген транспортър*



Фиг. 10.3. *Елеватори*

7. Ролков транспортър (фиг. 10.4)

Премества тежки единични дълги товари. Ролките имат индивидуално или групово задвижване.

8. Винтов транспортър (фиг. 10.5)

Използва се за преместване на насипни материали (цимент, въглища и др.) по хоризонтално или леко наклонено направление. Работният орган, който премества товарите, е винт.



Фиг. 10.4. *Ролков транспортър*



Фиг. 10.5. *Винтов транспортър*

9. Подвесен транспортър

Пренася товари на порции или на парче по сложни пространствени траектории с огъване в хоризонтални и вертикални плоскости. Тяговият елемент е верига или въже. Товарите се окачват на куки, сандъчета или други захващащи приспособления. Подвесните конвейери са много удобни при поточни производства с последователни технологични операции (например монтаж, боядисване, сушене, пакетиране или формоване, сушене, печене, товарене и др.).

10. Количков транспортър

Пренася единични товари или порции насипни товари. Траекторията може да описва хоризонтално или пространствено затворена крива. Тягов орган е верига или въже. Скоростите са сравнително малки – от 0,005 до 0,2 m/s.

11. Вибрационни и люлеещи се транспортъри

Товарите се пренасят с колебателно или възвратно-постъпателно движение на малки разстояния. Използват се за прахообразни, зърнени или насипни материали. Вибрационните транспортъри работят както с нормална

честота (50 Hz), така и с по-малка или по-голяма от нея. Амплитудата на вибрациите е в граници от 0,5 до 15 mm.

12. Ескалатори (фиг. 10.6):

Като правило се използват за превоз на пътници под наклон с височина до 65 m. Скоростта достига 1 m/s.

13. Въжена линия (фиг. 10.7):

Предназначена е за пренасяне на товари чрез окачване или в кофи, а също и на хора в специални кабинни. Има конструкции с едно и с две носещи въжета. По начало е стационарно съоръжение, но има и преносими.



Фиг. 10.6. Ескалатор



Фиг. 10.7. Въжена линия

III. Изисквания към електрообзавеждането

Режимът на работа на транспортъорите е продължителен с редки пускания и спирания. Товарът е постоянен или се изменя плавно. Продължителността на работа без спиране е нормално една или няколко смени с еднопосочно движение на товара. Обикновено регулиране на скоростта на транспортъорите не се изисква. Изключение от това правило са монтажните конвейери, при които скоростта се регулира дори в една смяна в зависимост от бодростта и умората на работниците. Диапазонът на регулиране на скоростите не надвишава 2:1.

Голяма част от транспортъорите работят на открито или на места с голямо запрашване, влажна и агресивна среда, с резки колебания на температурата. Характерно за тези условия е наличието на голям статичен съпротивителен момент при пускане не само при товар, а също празен транспортъор след продължителен престой.

При лентови транспортъори с голяма дължина е необходимо да се ограничава ускорението при пускане до $0,2 - 0,3 \text{ m/s}^2$. Това се налага от свойството на лентата да се разтяга и предизвиква механични колебания при по-големи ускорения, което може да доведе до скъсването ѝ.

Изискванията към електрообзавеждането позволяват широко да се използват електрически двигатели за променлив ток, в повечето случаи асинхронни с накъсосъединен ротор. При лентовите транспортъори много често се използват обикновени асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор от единната серия. Тези двигатели не са съвсем подходящи – те имат малък пусков момент и за да се осигури пускане, се преоразмеряват по мощност; по време на пусковия процес при скорост, отговаряща на максималния им момент, възниква ненужно, вредно натоварване на

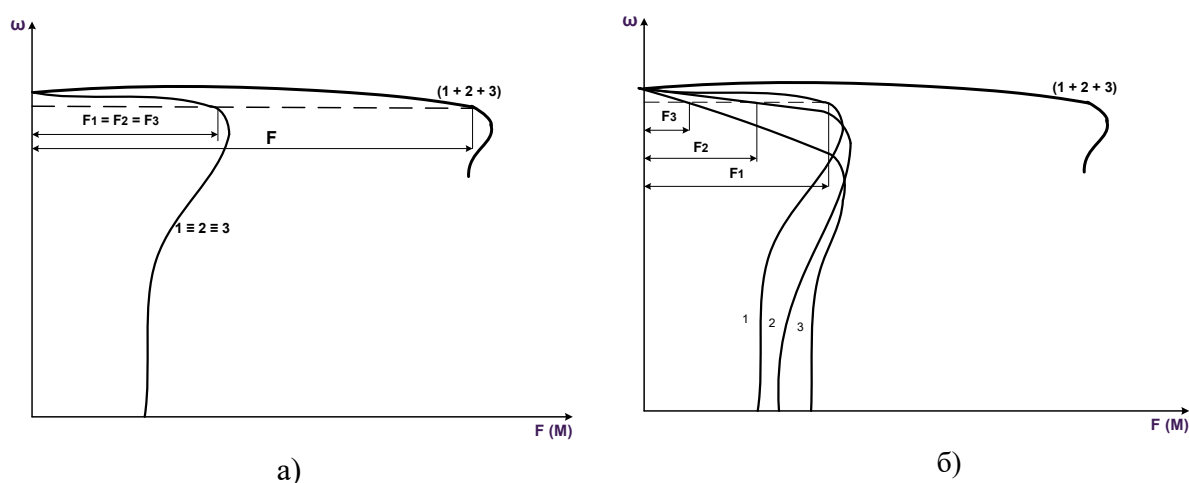
гумената лента; по време на работа не са достатъчно натоварени. Най-подходящи са АД с повишен пусков момент.

АД с навит ротор се използват в следните случаи:

- При захранване от електрически мрежи с малка мощност;
- При необходимост от създаване на голям пусков момент;
- При многодвигателно задвижване на транспортъори за изравняване на товара на отделни, участъци;
- При необходимост от плавно пускане при постоянно ускорение, при което може да се наложи да се направят $10 \div 20$ пускови степени на резисторите.

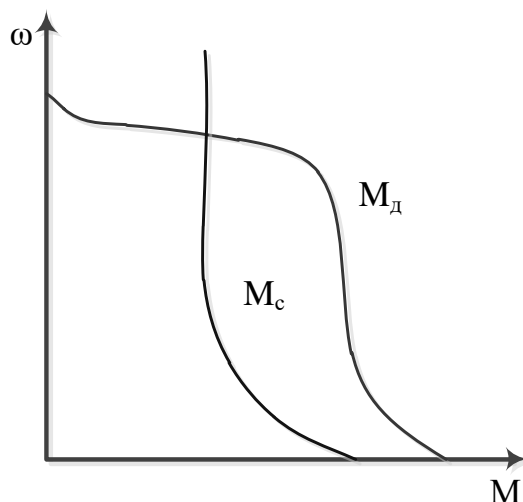
При транспортъори, изискващи голяма мощност (примерно 1000 и повече kW) и при дължина над 200-300 m, е целесъобразно да се използват два или три електрически двигателя за задвижване. Те могат да бъдат асинхронни с навит ротор и синхронни. Когато е наложително да се регулира скоростта, използват се многоскоростни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор, с навит ротор или механични вариатори и регулируеми съединители. Много рядко се използват постояннотокови двигатели. Ако електрическите двигатели са асинхронни с накъсосъединен ротор и еднакви характеристики, независимо от това, че силата F може да се изменя, те винаги се натоварват еднакво, фиг. 10.8 а). Еднаквите характеристики определят общата $(1+2+3)$ за целия транспортъор.

В случай, че задвижващите електрически двигатели имат различни механични характеристики, фиг. 10.8 б), всяко натоварване F се разпределя неравномерно. Електрическият двигател с по-твърда характеристика поема по-голям товар (F_1), но може да се претовари, а този с по-мека механична характеристика може да се товари под възможностите си (F_3). Когато се очаква, че характеристиките на електрическите двигатели ще бъдат различни, за изравняване на натоварването се използват асинхронни двигатели с навит ротор и специални схеми за съгласувано регулируемо синхронно задвижване. Чрез включване на различни резистори се изравняват механичните характеристики и се изравнява натоварването.



Фиг. 10.8. Многодвигателно електрозадвижване на транспортъор –
 а) с три електрически двигателя с еднакви характеристики;
 б) с три електрически двигателя с различни характеристики

За да се получи достатъчен пусков момент и плавно ускорение при гумено-лентовите транспортъори, се използват специално конструирани електрически асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор, чиято механична характеристика е дадена на фиг. 10.9. Съпротивителният момент на транспортъора M_c в началния момент е голям (клеясване на смазка, замръзване, замърсяване и др.) и с ускоряването намалява. Най-подходящ двигателен момент ще бъде M_d – при пускането е най-голям.



Фиг. 10.9. Механична характеристика на специален асинхронен двигател с накъсосъединен ротор и съпротивителен момент при гумено-лентов транспортъор

IV. Избор на мощността на електрически двигател за лентов транспортъор

Нормалният режим на работа на лентовия транспортъор е продължителен. Преходните режими и динамични натоварвания не се отчитат, т.к. са редки. Статичните натоварвания са относително постоянни и електрическият двигател се избира според тях. Проверка по нагряване не се прави. При тежки пускови условия се прави проверка по пусков момент.

Мощността, необходима за задвижване на транспортъора се определя с израза:

$$P = \frac{(F_T + F_{II}) \cdot v}{\eta_{пр}} \cdot C, kW$$

където: F_T – силите за преодоляване на триенето в натоварената част, [N]; F_{II} – силите при ненатоварената/празна част, [N]; v – скорост на лентата, [m/s]; $\eta_{пр}$ – к.п.д. на предавката; C – опитен коефициент, отчитащ загуби вследствие обтягане на лентата при водещия и направляващия барабан (за транспортъор). За транспортъори с дължина над 8 m, $C=1.10 \div 1.13$, а за по-къси (под 8 m) – $C=1.2 \div 1.5$.

Тема 11. СХЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ, БЛОКИРОВКИ И СИГНАЛИЗАЦИЯ НА МЕХАНИЗМИТЕ ЗА НЕПРЕКЪСНАТ ТРАНСПОРТ

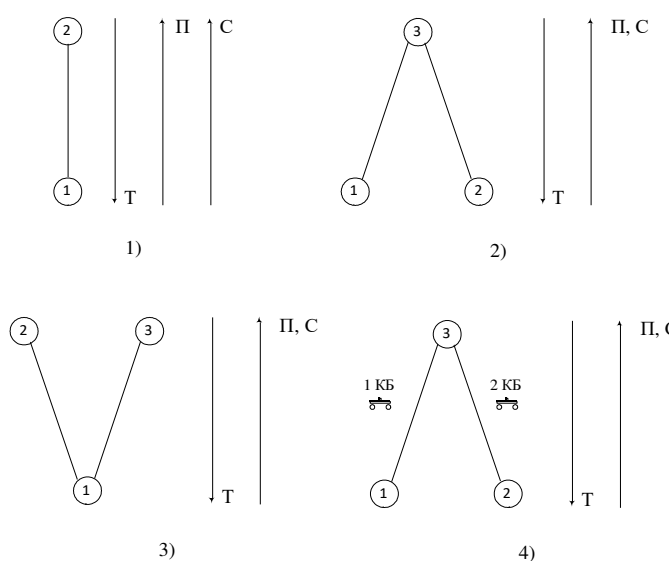
I. Общи сведения

Транспортъорите се използват не само като единични механизми, а също така в комплексни поточно-транспортни системи (ПТС) съвместно с различни други спомагателни механизми. Най-често в ПТС се използват лентови транспортъори и елеватори. Всеки механизъм има собствена схема за управление. При ПТС схемата за управление представлява съчетание от схеми на отделни механизми, свързани помежду си и с технологичния процес с блокировки и други взаимни връзки. Начините за управление, блокировки и взаимни връзки между електрозадвижването, механизмите, спомагателните устройства, технологичния процес и др. до голяма степен са типови за повечето транспортъори. Към схемите за управление на отделните механизми в зависимост от мястото им в технологичния поток се добавят изменения чрез блок-контакти на контактори, магнитни пускатели, размножителни и междинни релета, избиратели, превключватели и др. Чрез взаимните връзки и блокировки между няколко механизма може да се задава:

- последователност на пускането (П) и спирането (С);
- забрана за пускане или спиране в нежелана последователност;
- едновременна работа;
- технологични разрешения или забрана за работа.

II. Типови технологични възли и блокировки

Най-често срещаните технологични възли и блокировки между отделни механизми са дадени на фиг. 11.1. С Т, П, С и съответните стрелки са отбелязани последователността на технологичния поток (движението на товарите), пускането и спирането на механизмите. По отношение на спирането на механизмите.



Фиг. 11.1. Типови технологични възли и блокировки – 1) при два механизма; 2), 3), 4) при три механизма

На фиг. 11.1 – 1) са показани два механизма – примерно лентови транспортъори. По условията на технологичния процес вторият механизъм 2 трябва да бъде пуснат само след като първият 1 е пуснат. В противен случай ще се създадат аварийни положения – например натрупване на насипни товари и др. Същото се отнася и за спирането – ако спре който и да е механизъм, в случая 1, всички зад него трябва също да спрат – в случая 2, за да не се насипват товари. Технологичният възел от два механизма може да се разшири на 3, 4 и т.н. последователно свързани механизми. Принципите за взаимна връзка и блокировка остават същите.

На фиг. 11.1 – 2) механизмите 1 и 2 се захранват от механизма 3, с който са блокирани.

На фиг. 11.1 – 3) е обратният случай на този от фиг. 11.1 – 2) – два механизма 2 и 3 захранват 1.

На фиг. 11.1 – 4) освен механизмите от фиг. 11.1 – 2) са въведени допълнителни технологични блокировки 1КБ и 2КБ от други механизми – например затвори, отклонители и др.

III. Типови схеми за управление на единични механизми

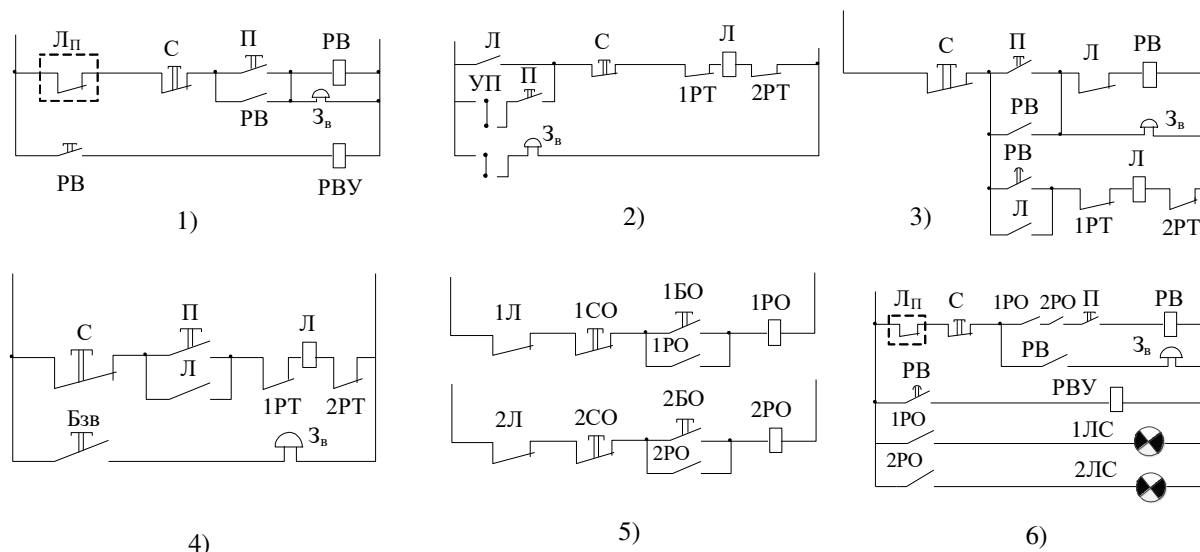
Най-често използваните електрически двигатели при транспортъорите са асинхронни с накъсосоединен ротор. Типовите схеми за управление на единични механизми се отнасят за такива електрически двигатели. За включване се използват магнитни пускатели с топлинна защита срещу претоварване, но могат да се използват контактори, комплектувани с топлинни релета. Напрежение се подава с автомат с МТЗ.

За първия механизъм 1 от технологичния възел от фиг. 11.1 – 1) се използва електрическата схема за управление, дадена на фиг. 11.2 – 1). Когато механизмът е втори 2 (или трети и т. н.), се използва схемата на фиг. 11.2 – 2) с блок-контакт 1Л от схемата за управление на първия механизъм. В схемата на фиг. 11.2 – 2) е въведен ключ за избиране на управлението – 2ИУ.

Когато сме включили на положение Б, блокировката действа. На положение Р (ръчно) механизмът 2 може да се включва самостоятелно (например при ремонт) – блокировката от първия механизъм не действа. При действие на блокировката при спиране на първия механизъм спира и вторият.

Когато се използва технологичният възел от фиг. 11.1 – 2), механизмите (транспортъорите) 1 и 2 са първи в технологичния поток – за тях се използва схемата за управление, дадена на фиг. 11.2 – 1).

Най-проста предупредителна предпускова сигнализация е дадена на фиг. 11.3 – 1). Изпълнена е с електрически звънци или сирени. С бутона *П* се задейства релето *PB* и звънците започват да звънят. Със закъснение от време релето *PB* с включващия си контакт задейства релето за управление *PBY*, което подава импулс за пускане на технологичния поток от транспортъори. След като се пусне и последният, чрез неговия контакт *ЛП* се прекъсва веригата на *PB* и звънците. Предупредителна сигнализация е показана и на фиг. 11.3 – 2). Преди пускане на дълъг единичен транспортъор чрез ключа *УП* се включва звънецът – *Зв*.



Фиг. 11.3. Схеми за сигнализация при поточно-транспортни системи – 1) и 2) предпускова; 3) предпускова със закъснение от време; 4) независима предпускова; 5) и 6) сигнализация с отговори

Едва след това с бутона *П* е възможно пускане на електрическия двигател чрез контактора *Л*. След като се пусне транспортъорът и контакторът *Л* се самоблокира със собствен блок-контакт, с ключа *УП* се изключва звънецът. Тази схема има неудобството, че трябва след всяко пускане да изключваме звънеца с ключа *УП*.

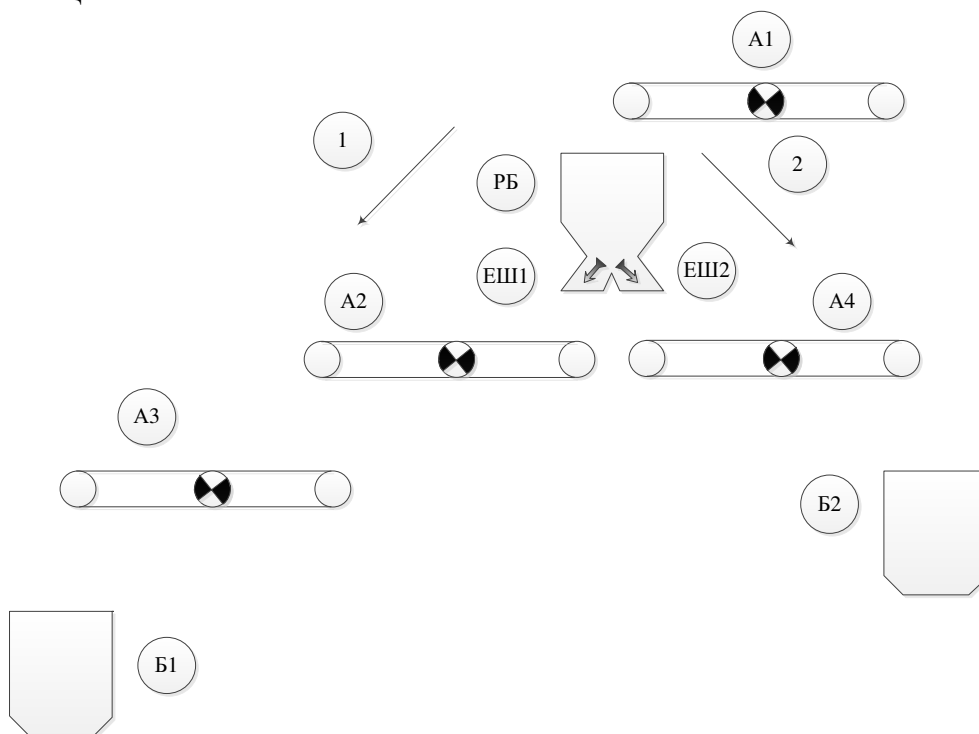
На фиг. 11.3 – 3) е дадена схема на предпускова сигнализация, без да има отбелязания недостатък. С бутона за пускане *П* се задейства *PB* и *Зв*, а след закъснение от време на *PB* се пуска *Л* (двигателят). Със своя изключващ блок-контакт *Л* разкъсва веригата на *PB*, с което се изключва и *Зв*. Още по-проста независима предпускова сигнализация, задействана от оперативния персонал, е показана на фиг. 11.3 – 4).

Когато поточно-транспортната система е голяма и управлението е централно, на операторите е необходима информация от самите работни места, че има готовност за работа. Когато такава информация постъпва от няколко места, при централния пункт трябва да има сигнални лампи, показващи откъде е дадено разрешение за пускане.

На фиг. 11.3 – 5) е дадена схема, от която се вижда как може да постъпи обратна информация от дадено работно място. След като работното място е подготвено, местният персонал с бутон за отговор към централния пункт *1Б0* (или *2Б0*) задейства релето за отговор *1Р0* (*2Р0*). На фиг. 11.2 – 6) се вижда, че чрез включващите контакти на *1Р0* (*2Р0*) се задействат сигнални лампи *1ЛС* (*2ЛС*) и се подготвя веригата за релето *РВ*. Едва след това от централния пункт с бутона *П* ще се задейства предупредителната предпускова сигнализация. Релето *1Р0* (*2Р0*) ще се изключи от изключващия контакт на контактора на съответния транспортър - в случая *1Л* (*2Л*). Схемите за сигнализация трябва да предвиждат при аварийно спиране на механизъм на пункта за управление да постъпва светлинен и звуков сигнал.

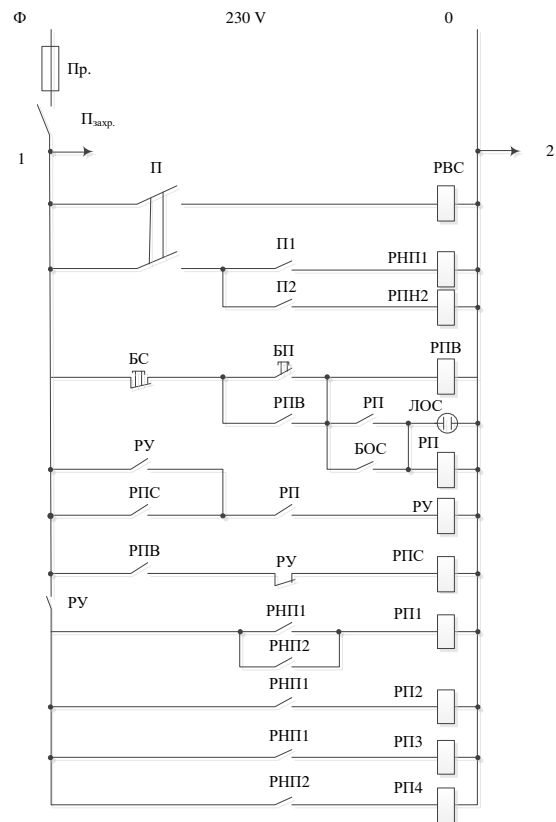
V. Схема за управление на ПТС

Една малка ПТС, състояща се от три тракта, и електрическата ѝ схема за управление са показани на фигурите по-долу. Мнемосхемата на технологичния поток – фиг. 11.4, се намира в пункта за управление и обикновено е светеща.



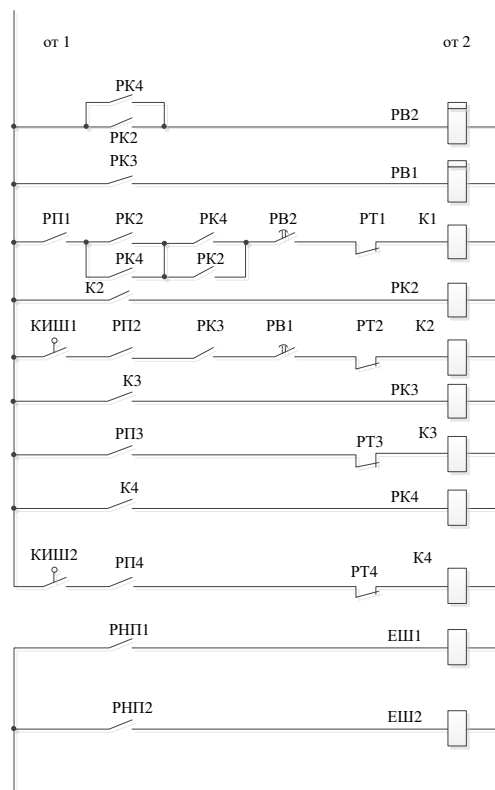
Фиг. 11.4. Мнемосхема на технологичния поток
на поточно-транспортна система

Товарите са насипни и се подават от лентовия транспортър *Л1* в разпределителния бункер *РБ*. След него товарът се разпределя по два тракта - *тракт 1* и *тракт 2*. По *тракт 1* чрез транспортърите *Л2* и *Л3* товарът постъпва в бункер *Б1*. По *тракт 2* товарите от транспортър *Л1* през разпределителен бункер *РБ* постъпват на транспортър *Л4* и отиват в бункера *Б2*. Схемите за управление и сигнализация на ПТС са дадени на фиг. 11.5, фиг. 11.6 и фиг. 11.7.



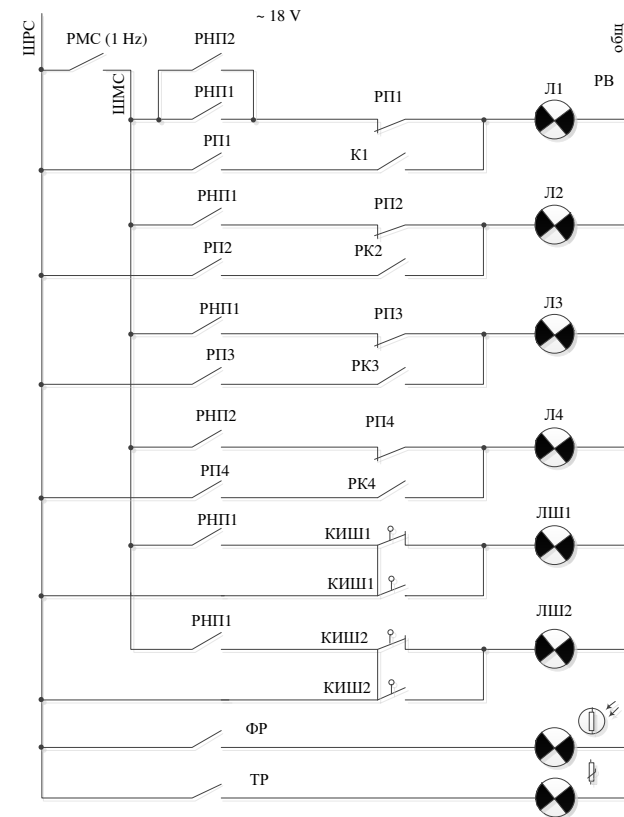
Бутони и помощни релета на изследваната ПТС

Фиг. 11.5.



Контактори на изследваната ПТС

Фиг. 11.6.



Сигнализация на изследваната ПТС

Фиг. 11.7.

1. Работа на схемата при пренасяне на товарите по тракт 1

След включване на прекъсвача *П* се захранва бобината на релето за включване на сигнализацията (*РВС*), което чрез свой включващ контакт подава захранващо напрежение към общата шина на лампите за сигнализация. За работа по *тракт 1* се включва прекъсвачът *П1* и се подава захранване на релето за направление на потока *РНП1*, което чрез включващите си контакти подготвя захранването на помощните релета *РП1*, *РП2*, *РП3* и подготвя схемата за по-нататъшна работа. Помощните релета не се включват, т.к. контактът на релето за управление *РУ* е отворен.

В схемата за сигнализация (фиг. 11.5) *РНП1* с включващите си контакти включва *Л1*, *Л2*, *Л3*, *ЛШ1* към шините за мигаща светлина *ШМС*, те започват да мигат и се проверява дали правилно е набрана схемата. Едновременно с това включващите контакти на *РНП1* подават захранване на електро магнита на *шибър 1*. Той се задейства и позволява пренасяне на товара по *тракт 1*. При правилно задействане на *ЕШ1* неговите крайни превключватели ще се задействат и ще превключат *ЛШ1* от *ШМС* към шините за равномерно светене *ШРС*. С другия си контакт крайният превключвател на *шибър 1* подготвя захранване на контактор *К2*.

За да се пуснат електрическите двигатели на транспортъорите се натиска бутон "пуск" (*БП*). Веднага се задейства помощното реле за включване (*РПВ*), което със свой блок-контакт се самозадържа. С другия си включващ контакт *РПВ* захранва релето за предпускова сигнализация *РПС*, което с включващия си контакт включва високоговорителя на генератора за звукова честота и се подава звуков сигнал. *РПС* подготвя и веригата за включване на релето за управление *РУ*. При готовност по места се дава отговор чрез бутон за ответна сигнализация *БОС* и се включва релето *РП*.

РП се самозадържа чрез собствен блок-контакт, паралелно включен на *БОС*. Паралелно на *РП* е включена и лампата за ответна сигнализация *ЛОС*. След това процесът на включване продължава автоматично. *РП* включва *РУ*, което шунтира контакта на *РПС* и се самозадържа, а с изключващия си контакт изключва *РПС*, при което се прекъсва предпусковата сигнализация. *РУ* включва подготвените помощни релета *РП1*, *РП2*, *РП3*. Първо се включва контактор *К3*, който е получил захранване от включващия контакт на *РП3*. Със своя блок-контакт той подава захранване на помощното си реле *РК3*, което подава захранване на релето за време *РВ1* и след определено време със включващия си контакт включва контактор *К2*. Веригата на бобината на *К2* е подготвена за включване от *РП2*, *РК3* и *КИШ1*. Помощното реле *РП3* прекъсва захранването на *Л3* от *ШМС* и подготвя захранване от *ШРС*, но лампата светва, когато се задейства *РК3* (необходимостта да се изключват лампите за сигнализация от *ШМС* идва оттам, че след включване на една лампа към *ШРС* ще се подаде постоянно напрежение към *ШМС*). С включване на *К2* се подава за-

хранване на помощното му реле *РК2*, което подготвя веригата за включване на контактора *К1* и подава захранване на *РВ2* (включващите контакти на *РК2* и *РК4* са свързани последователно на бобината на *К1* така, че да е невъзможно захранването на *К1*, ако не е включил *К2* при пренасяне на товари по *тракт 1* или *К4* при пренасяне на товари по *тракт 2*). След определено време *РВ2* включва *К1*.

Помощното реле *РП2* прекъсва захранването на *Л2* от *ШМС* и подготвя захранването ѝ от *ШРС*. Лампата за сигнализация *Л2* светва равномерно след действие на *К2* и *РК2*. С включване на *К1* - той чрез блок-контакта си включва *Л1* към *ШРС*.

2. Работа на схемата при пренасяне на товарите по тракт 2

С включване на прекъсвача *П* се захранва *РВС*, което от своя страна подава захранване на общата шина на лампите за сигнализация. Чрез включване на прекъсвач *П2* се подава захранване на релето за направление на потока по *тракт 2* (*РНП2*). То с включващ свой контакт подготвя захранването на помощните релета *РП1* и *РП4*. Помощните релета не се включват, т.к. контактът на *РУ* е отворен.

В схемата за сигнализация *РНП2* с включващите си контакти включва лампите *Л*, *Л4*, *ЛШ2* към *ШМС*, те започват да мигат и се проверява мнемосхемата. Едновременно с това с включващ контакт *РНП2* подава захранване на електромагнита на *шибър 2*. Той се задейства и позволява пренасяне на товара по *тракт 2*. При правилно задействан шибър, неговите крайни превключватели се задействат и превключват *ЛШ2* от *ШМС* към *ЛПРС*, а с другия си контакт подготвят захранването на контактора *К4*. При натискане на *БП* се задейства *РПВ* и се самозадържа. С другия си контакт *РПВ* подава захранване на *РПС*, което подава звуков сигнал и подготвя веригата на *РУ*. При натискане на *БОС* се включва *РП* и светва *ЛОС*. Релето за пускане *РП* се самозадържа и включва *РУ*, което шунтира включващия контакт на *РПС*, последователно включен на бобината му. С изключващ контакт *РУ* изключва *РПС* и се прекратява звуковият сигнал. *РУ* подава захранване на *РП1* и *РП4*. Първо се включва контактор *К4*, получил захранване чрез *РП4*. *К4* чрез блок-контакта си включва *РК4*. То подготвя веригата на захранване на бобината на *К1* и подава захранване на *РВ2*, което след определено време затваря включващия си контакт и включва *К1*. Релетата *РК4* и *РП4* превключват *Л4* от *ШМС* към *ШРС*, а *К1* и *РП1* - *Л1* от *ШМС* към *ШРС*. Действието на схемата се спира с бутона "стоп".

В дадените по-горе схеми са реализирани следните блокировъчни зависимости:

- а. контакторите за управление на електрическите двигатели са комплектовани с термични защиты, осигуряващи изключване на съответния електрически двигател при претоварване;

- b. в случай, че не се подаде предпусков сигнал, не може да се включи релето за управление и да се продължи действието на схемите;
- c. при положение, че не се получи отговор от работното място (чрез БОС) е невъзможно включването на релето за пускане;
- d. ако при работа на схемата по *тракт 1* по някакви причини се изключи *K3*, това води до изключване на *K2*, а оттам и на *K1*. При работа на схемата по *тракт 2* изключването на *K4* води до изключване и на *K1*;
- e. в случай, че шибърният разпределител не е задействан правилно, не може да се включи съответният контактор (*K2* или *K4*), а следователно и *K1*, ако при работа на ПТС се измести шибърен разпределител - спира се действието ѝ;
- f. схемата разполага с температурно реле, даващо възможност за сигнализация и блокировка на ПТС при контрол на предварително зададена температура в граници $-30^{\circ} \div +100^{\circ}\text{C}$;
- g. при реализиране на схемата може да се използва блокировъчна зависимост от осветеността. За целта е предвидено фотореле с лампа за сигнализация, поставена на мнемосхемата. Фоторелето разполага с един включващ контакт за включване на звуков сигнал и един изключващ контакт, който при последователно свързване към бутон "стоп" дава възможност за спиране на действието на ПТС. Възможните приложения на фоторелето са: контрол на нивото в даден бункер; контрол за изсипване на товари от лентата; контрол за запрашеността в цеха и др.

Тема 12. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ НА ПЕЩИ

Пещите с индустриално приложение имат различни конструкции и предназначение и заемат основен дял в технологичното и енергетично обзавеждане на промишлените предприятия. В тях се изразходват близо 50% от световния разход на горива.

Електрическите пещи се използват в черната и цветна металургия за добиване на метали от техните руди (рудотермични пещи), за получаване на метали чрез претопяване (топилни пещи), за рафиниране (рафинационни пещи), за нагряване на метали пред пластична деформация (нагревателни пещи) и за термична обработка (термични пещи).

Пещта е сложен агрегат, в който процесът на генерация на топлина от друг вид енергия е свързан с предаване на топлина в зоната на технологичния процес.

Електрическата енергия е най-скъпият енергиен ресурс и използването ѝ за топене на метали и сплави се определя като силно енергоинтензивен процес, характеризиращ се с нисък естествен фактор на мощността и широки граници на изменение на консумация на активна и реактивна енергия.

Преимствата на електрическата енергия, използвана за нагряване/топене се дължи на следните фактори:

- възможност за точно и бързо регулиране на температурата и напрежението;
- точно поддържане на постоянна температура с възможност за програмно регулиране;
- възможност за концентриране на голяма мощност в малък обем, вследствие на което се постигат високи температури, непостижими за друг начин на загряване;
- възможност да се даде най-различна форма на топлинния източник и най-целесъобразно разпределение на мощността;
- минимални разходи за оборудване и обслужване.

Използването на електрическа енергия за нагряване/топене има и своите недостатъци:

- електрическата енергия, използвана за тези цели не може да се съхранява (акумулира);
- при преноса на мощности за нагряване до мястото на потребление загубите са съществени;
- висока стойност на първоначалните инвестиции и капиталовложения, свързани с транспорта и трансформацията.

На фиг. 12.1 се представя класификация на основните електротермични процеси и пещи.



Фиг. 12.1. Класификация на основните електротермични процеси и пещи

Основните методи, използвани за нагряване/топене в електрическите пещи, са:

1. Съпротивителен метод

Съпротивителният метод е основан на принципа, че при протичането на ток в проводник или среда, вследствие съпротивлението, което оказват, се отделя топлина. Количеството топлина е пропорционално на квадрата на тока, съпротивлението и времето, за което протича токът:

$$Q = k \cdot I^2 \cdot R \cdot t,$$

където: k – константа; I – големина на протичащия ток, [A]; R – съпротивление, [Ω]; t – време, [s].

2. Индукционен метод

При този метод има тристепенно превръщане на електрическата енергия. Отначало в електромагнитна, после в електрическа и накрая в топлинна. Различават се основно два типа инсталации за индукционно нагряване:

- с желязна сърцевина: те са подобни на обикновен трансформатор, като за вторична навивка служи нагряваният материал; този метод се използва главно за цветни метали.
- без желязна сърцевина: те най-често представляват соленоид, захранван с ток с повишена честота; в бобината се поставя

керамичен тигел, запълнен с метал, в който се индукират вторични вихрови токове, които загряват и разтопяват метала; индукционните пещи могат да бъдат пещи-топологенератори с електрически режим на топлинна работа.

3. Загряване с волтова дъга

Различават се два вида: дъгата гори между два електрода и нагрява даден материал чрез излъчване или дъгата гори между електродите и материала.

4. Дъгово съпротивителен метод

При този метод нагряването се постига от едновременно комбиниране на нагряване чрез дъга и нагряване по съпротивителен метод. Този метод се прилага при топене на материали с голямо специфично съпротивление.

5. Нагряване чрез диелектрични загуби

Нагряваният материал се поставя между плочите на кондензатор и служи за диелектрик. При захранване на този кондензатор с ток с много висока честота материалът вследствие на големите диелектрични загуби се нагрява бързо и равномерно в целия си обем.

Предвид големите мощности на пещите и значителните количества електрическа енергия, която се консумира от тях, високата енергийна ефективност е основна задача. Постигането ѝ е съпроводено с технически рискове, свързани с прекъсването на производствения процес, прилагането на неподходяща технология, липса на време и квалифициран персонал и повишени капитални разходи. Енергийни спестявания при пещите могат да бъдат реализирани по два начина – директни спестявания чрез по-ниска консумация на енергия и индиректни спестявания – чрез по-малко потребление на материални ресурси. Следователно, целта е постигане на производство на определено количество качествена продукция с по-малко енергия и по-малко суровини. За да се осъществи това, трябва добре да се познава електрообзавеждането на пещите, да се изследват и разбират енергийните и материалните потоци в процесите на нагряване/топене.

Тема 13. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРОДЪГОВИ ПЕЩИ

I. Общи сведения

Електродъговите печи (ЕДП) работят на принципа на използване на топлината, отделена от електрическата дъга. В електрическата дъга при сравнително малък обем може да се съсредоточат големи мощности и да се получат много високи температури. Това е особено удобно за топене на материали и по-специално на метали.

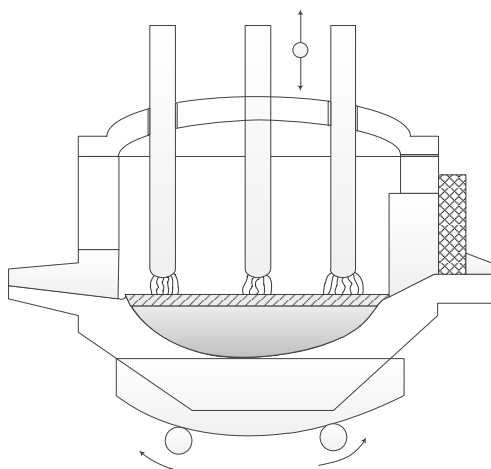
Възможността за използване на дъгата за топене на метали е показана още в 1803 г. от руския учен В. Петров. Със своите опити той за първи път е показал, че електрическата дъга не само топи метали и ги заварява, но също така ги редуцира от техните окиси в присъствие на въглеродни редутори. Промислено развитие дъговите печи са получили едва в края на XIX-ти и началото на XX-ти век, когато са се появили достатъчно мощни източници на електрическа енергия.

Според начина на действие и използване на електрическата дъга електродъговите печи се делят на следните групи:

1. Дъгови печи с пряко действие (фиг. 13.1)

Дъгата гори между електродите и метала, непосредствено го нагрива и топи. Огнището на високата температура (дъгата) се намира на повърхността на метала. Електродите са разположени вертикално и екранират свода на печта от непосредственото излъчване на дъгата. Поради това се допускат големи обемни мощности и процесите могат да протичат при много високи температури.

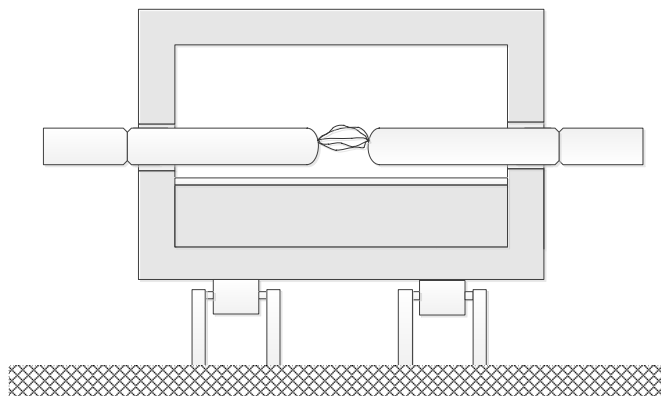
Този вид печи са трифазни, мощни, предназначени за топене на труднотопими метали с висока температура на изпарение – това са главно стоманодобивни печи. Те се срещат най-често. Най-голяма мощност на единичен консуматор в света има такава печ – 162 MVA. У нас също стоманодобивна печ е най-големият единичен консуматор с мощност при топене 60 MVA. Към дъговите печи с пряко действие на дъгата могат да бъдат отнесени и появилите се в последните години вакуумни дъгови печи.



Фиг. 13.1. Дъгова печ с пряко действие

2. Дъгови пещи с косвено действие (фиг. 13.2):

Дъгата гори между електроди, а отделената топлина се предава на метала, който се топи, чрезлъчение, а в някои случаи частично чрез конвекция и топлопроводност. Огнището на топлина се намира на известно разстояние от повърхността на метала и затова изпаренията на метала са по-малки в сравнение с пещите с пряко действие.



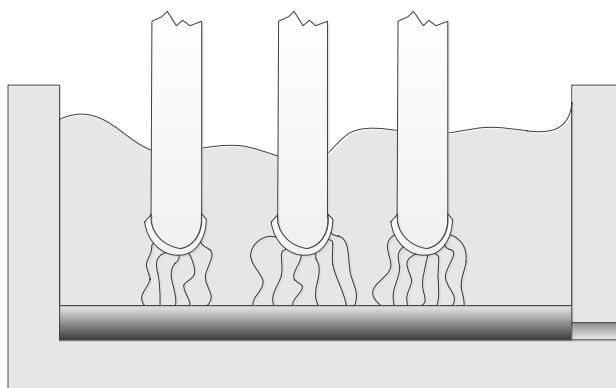
Фиг. 13.2. Дъгова пещ с косвено действие

Това позволява при тези пещи да се топят метали и сплави с ниска температура на изпарение. Топлинната изолация на стените се намира при тежки условия на нагряване вследствие на излъчването на дъгата. Поради тази причина тези пещи имат сравнително малка мощност (до 500-600 kVA) и са еднофазни.

Използват се в машиностроителните заводи за топене и леене на цветни метали, като мед, сплавите бронз, месинг и други, а също, но по-рядко – за топене и леене на чугун. Те са сравнително рядко срещани консуматори. Към тях могат да бъдат отнесени дъговите нагреватели за газ и плазмените устройства (плазмотрони).

3. Съпротивителни дъгови пещи (фиг. 13.3)

Дъгата гори в газова среда вътре в разтопения материал и паралелно или последователно на нея протича ток през самия материал.



Фиг. 13.3. Съпротивителна дъгова пещ

Понеже съпротивлението на шихтата (материала) е голямо, при протичането на ток през нея се отделя също топлина. При тези пещи огнището на топлина е вътре в шихтата, дъгата е закрыта, следователно са

удобни за топене и редукия на метали с висока температура на топене и изпарение, а изолацията на стените се намира при по-благоприятни условия за работа. Електродите са вертикални и са от материал, който се спича, слизайки към шихтата. Допускат големи токови натоварвания, следователно са с големи мощности. Този тип пещи се използват за получаване на феросплави, карбид, черна мед, фосфор и др.

Основните параметри, характеризиращи работата на електродъговите пещи са: номинален капацитет, производителност, специфична мощност и специфичен разход на енергия.

Номиналният капацитет се определя от конструктивните размери на пещта и се измерва в Mg ($1 \text{ Mg} = 1 \text{ тон}$). При даден капацитет мощността на една пещ може да бъде различна в зависимост от технологичните цели. Това се определя от специфичната мощност $1 \text{ kW}/1 \text{ Mg}$ (единица мощност за единица разтопен метал). Производителността се определя от капацитета и мощността. Измерва се в Mg за едно денонощие или една година. Много важен показател е специфичният разход на енергия (единица енергия за единица разтопен метал), измерва се в kVAh/Mg . Варира в широки граници за различните метали и сплави: $500\text{-}700 \text{ kVAh}/\text{Mg}$ за стомана и $5000\text{-}7000 \text{ kVAh}/\text{Mg}$ за феросплави. Производителността и специфичният разход на електрическа енергия зависят от много фактори, като най-важният е електрическият режим на работа на пещта, респективно подаваната електрическа мощност.

Електрическият режим на работа може да бъде регулиран по два начина:

- стъпално - чрез изменението на напрежението на пещта;
- плавно - чрез изменение на дължината на дъгата, следователно на тока на дъгата.

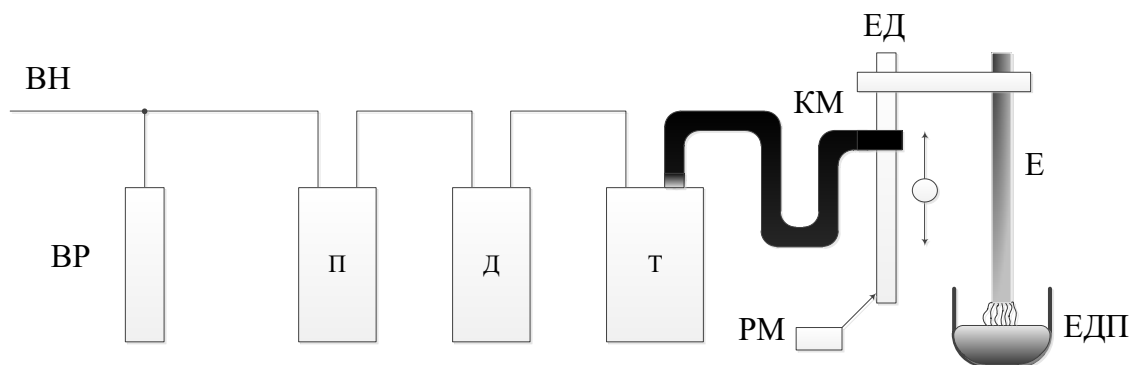
При първия начин се превключват намотките на страната на високото напрежение на пещния трансформатор. При втория начин мощността се регулира непрекъснато и плавно, спускайки или повдигайки електродите, обикновено автоматично, като се поддържа постоянен токът на пещта.

Наред с големите предимства на електродъговите пещи като технологични агрегати работата им е съпроводена с редица особености и явления, които водят до отрицателно въздействие както върху самите тях, така и върху други потребители на електрическа енергия, намиращи се в близост. Това се отнася преди всичко до пещите с пряко и косвено действие. Електрическите товари се изменят циклично с продължителност на цикъла от 2,5 до $7\div 8$ часа. По време на цикъла товарът също се изменя в зависимост от типа на пещта. Товарите по фази са неравномерни. Неравномерността зависи от съвършенството на конструкцията на пещта и от нестабилността на горене на електрическата дъга. Неравномерният по фази товар се колебае с честота от 0,1 до 25 Hz и предизвиква колебания на напрежението в електроснабдителната система. Коефициентът на мощността също не е добър – при пещите със свръхвисока мощност при топенето на металите има стойности 0,7 и по-малки. Електродъговите пещи са източник на хармоници, което се обуславя от природата на самата дъга. Възможно е при из-

ключване на пещите по технологични или други причини да се появят комутационни пренапрежения. Всички тези недостатъци внасят смущения в ЕСПП.

II. Особености на електрообзавеждането на електродъговите пещи

На фиг. 13.4 е дадена блокова схема с последователно свързани главните елементи на електрообзавеждането на една електродъгова стоманодобивна пещ. При другите типове електродъгови пещи елементите са същите, но с параметри, отчитащи особеностите на работата им съгласно изискванията на технологичния процес.



Фиг. 13.4. Блокова схема на електродъгова пещ

Електродъговите пещи като мощни консуматори на електрическа енергия се захранват с високо напрежение (ВН) от ЕЕС. По този начин може да се намали отрицателното им влияние върху другите консуматори. Високото напрежение е 6, 10, 20 или 35 kV, но при свръхмощни пещи достига 110 и повече kV.

Най-доброто средство за намаляване на влиянието на пещите върху другите консуматори е захранването им с отделни високоволтови линии, които да се присъединяват към ЕЕС в точки с голяма мощност на късо съединение – S_K . Ако мощността на късо съединение S_K превишава 100 пъти мощността на пещния трансформатор $S_{ПТ}$, смущенията ще са под допустимите норми. Ако пещите са няколко и с различни мощности, за общата трансформаторна мощност на пещите трябва да се определи стойност, отчитаща неедновременната им работа и нееднаквите мощности. При съпротивителни дъгови пещи товарите са значително по-спокойни и изискванията за стойността на S_K не са толкова високи.

При честите изключвания на дъговите пещи възникват комутационни пренапрежения. При стоманодобивни пещи тези изключвания са няколко десетки броя за денонощие. Защитата от пренапрежения се изпълнява от вентилни разрядници $ВР$, монтирани непосредствено преди входа към електропещта. Свързването им е в звезда и триъгълник. Избират се специални за целта разрядници с по-ниска стойност за срязване на пренапрежението. Разрядници не се монтират, когато възникващите пренапрежения не са опасни.

С П е означен високоволтовият прекъсвач. Предназначен е за включване и изключване на пещния трансформатор при празен ход и при

товар и за изключване при продължителни експлоатационни и аварийни къси съединения. Той е най-отговорното електрическо съоръжение за управление на пещта. При напрежение 35 kV повече се използват въздухоструйни прекъсвачи, издържащи голям брой включения и изключения, с много предимства пред маслените прекъсвачи. При по-ниски напрежения и малки по капацитет пещи се използват многообемни маслени прекъсвачи и съвсем рядко – маломаслени.

Когато реактивното съпротивление $X_{лт}$ на пещния трансформатор заедно с това на електрическата мрежа на страната на ниското напрежение не е достатъчно да ограничи големината на тока на експлоатационното късо съединение и да осигури устойчива дъга, последователно се свързва дросел D със съответно реактивно съпротивление. При малки пещи това е необходимо. При големи пещи (например 100 Mg) дросел не е необходим, поради голямото индуктивно съпротивление.

Пещният трансформатор T е най-отговорното съоръжение при една пещ. Той се отличава от един обикновен силов трансформатор по следните особености: трябва да издържа механически на непрекъснатите токови удари, възникващи при честите експлоатационни къси съединения; да издържа претоварвания за определен интервал от време; да позволява превключване (по възможност под товар) на различни степени на вторичното напрежение, броят на които достига до 27. Сега големите пещни трансформатори се правят с принудително охлаждане с циркулация на маслото. Пещните трансформатори имат по-големи габаритни размери и са по-тежки от обикновените при една и съща мощност. Вторичните им намотки трябва да позволяват в зависимост от мощността протичането на десетки kA. Това означава голям коефициент на трансформация, което заедно с изискването за малко индуктивно съпротивление затруднява конструктивното изпълнение.

Участъкът на електрическата верига след трансформатора до електрода се нарича „къса мрежа“ и се означава с $KМ$. Тя се характеризира с малка дължина и големи токове, следователно с големи сечения на проводниците. При протичането на големи променливи токове в проводниците активното им съпротивление се увеличава вследствие повърхностния (скин) ефект. Затова късата мрежа се изпълнява от проводници с голямо сечение. Голямо значение за работата на късата мрежа има индуктивното ѝ съпротивление, което зависи от магнитните полета, създадени от големите токове. Дори при малко увеличаване на индуктивното съпротивление на $KМ$ вследствие на големите токове индуктивният пад на напрежението става толкова голям, че напрежението, което остава за дъгата, не може да осигури нормалното ѝ горене. При това коефициентът на мощността се влошава. Върху индуктивното съпротивление съществено влияние оказва ефектът „близост“ – то намалява, когато близко се разположат проводниците от различни фази. Дължината на проводниците също има много голямо значение, затова трансформаторът се разполага възможно най-близко до пещта.

Късата мрежа започва от трансформатора и има следните последователни участъци:

- 1) температурни компенсатори;
- 2) шихтовани пакети от близко разположени шини на отделните фази;
- 3) гъвкава част, необходима за вертикалното преместване на електродите, състояща се от гъвкави сухи или водоохлаждащи кабели;
- 4) присъединителни кабелни обувки;
- 5) медни кухи водоохлаждаеми тръби, разположени върху електрододържателите ED до електродите E .

Поради неравенството на взаимните индуктивности между отделните фази се появява явлението „пренос на мощност“ от едната крайна към другата крайна фаза. Мощността на дъгата на първата фаза намалява, затова тази фаза се нарича „мъртва“, а на третата се увеличава, затова се нарича „дива“. Средната фаза практически запазва мощността си. Това различие в мощностите на отделните фази води до неравномерно износване на топлинната изолация на пещта срещу съответната дъга. Най-доброто средство за борба с явлението „пренос на мощност“ е разполагането на трите фази на късата мрежа по върховете на равностраничен триъгълник, което конструктивно е сложно и понякога невъзможно.

Довеждането на тока вътре до пещта и горенето на електрическата дъга се осъществява с помощта на електродите. При пещите с пряко и косвено действие се използват преди всичко графитни електроди, отличаващи се с механична издръжливост и малко специфично съпротивление. При стоманодобивните пещи се използват и импрегнирани графитни електроди, които са с още по-добри качества, у нас се използват графитни електроди със защитно метално покритие, изпълнено по специална патентована наша технология. Това покритие позволява по-добре да се използват електродите и специфичният им разход за един Mg стомана намалява – $7 \div 8 \text{ g/kg}$ метал.

Това наше изобретение е продадено в много страни. При съпротивително-дъговите пещи се използват специални непрекъснати самоспичащи се графитни електроди. Те се наричат непрекъснати, защото нарастването им става на място, без изключване на пещта, докато удължаването на графитните става чрез нипелно свързване. Непрекъснатите самоспичащи се електроди имат метален кожух, запълнен с електродна въглена маса. Кожухът се удължава непрекъснато с метални цилиндри и се добавя отгоре електродна маса, а спичането на електродната маса става под действието на топлината по време на работа.

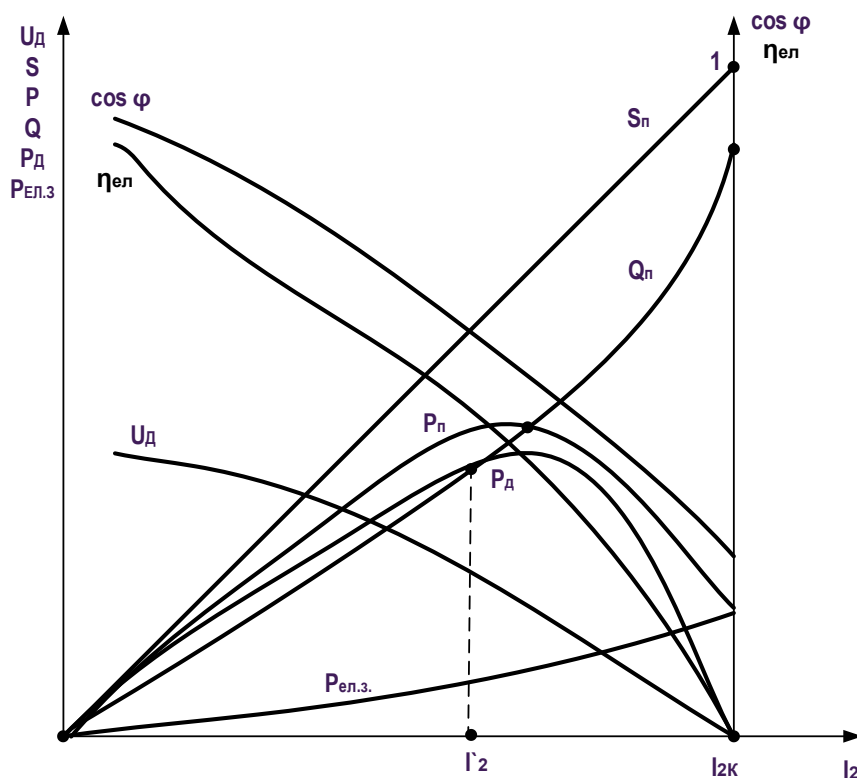
Самата $EDП$ представлява един метален цилиндричен кожух, който е облицован отвътре с топлинна изолация. От едната страна има отвор за леене, а от противоположната – отвор с врата за наблюдаване и внасяне на добавки, необходими за технологичния процес. Отгоре $EDП$ има капак (обикновено подвижен), на който има отвори за електродите. $EDП$ имат ня-

колко механизма с електрозадвижване. Най-важният от тях е този за вертикално преместване на електродите (за всяка фаза), свързан с регулатора PM за поддържане на постоянна мощност. Задвижването е постояннотоково. През последните години задвижването се прави хидравлично с електрическо управление. Другите механизми са за наклон на пещта (за леене), вдигане и завъртане на свода, отваряне на вратата за добавки. Обикновено задвижването е с асинхронни двигатели. На някои стоманодобивни пещи се монтира под пещта специално устройство за електромагнитно размесване на метала. Това устройство представлява разгънат статор на двигател за променлив ток, работещ на честота $0,35 \div 1$ Hz. При тази честота течният метал се движи, размесва и ускорява технологичния процес.

III. Електрически и работни характеристики на електродъгови пещи. **Рационални режими за работа**

Подаваната към една електродъгова пещ мощност може да се изменя чрез превключване на степените на вторичното напрежение на пещния трансформатор (стъпално), което се използва няколко пъти по време на един цикъл от технологичния процес или чрез изменение на дължината на дъгата, следователно и тока (плавно и непрекъснато). Вторият начин е подходящ за автоматично управление и поддържане на постоянна мощност. Управлението има за изходен параметър тока на дъгата, за това е необходимо да се познават електрическите характеристики на пещта. Това са зависимостите на пълната мощност S , активната мощност P , реактивната мощност Q , мощността на дъгата P_d , електрическите загуби $P_{ел.заг.}$, напрежението на дъгата U_d , фактора на мощност $\cos\varphi$ и електрическото к.п.д. $\eta_{ел}$ от тока на дъгата I_2 , фиг. 13.5.

С увеличаване на тока на дъгата електрическият к.п.д. $\eta_{ел}$ и коефициентът на мощност $\cos\varphi$ намаляват, а електрическите загуби, реактивната и пълна мощност нарастват. Общата активна мощност и мощността на дъгата в началото растат, имат максимум при работен ток I_2 , мощността на дъгата е най-голяма. Това е точката на максимална производителност на пещта. С увеличаване на работния ток електрическите загуби и реактивната мощност растат, мощността на дъгата намалява, влошават се к.п.д. и $\cos\varphi$. Режимът на работа е рационален, когато нарастването ΔP_d остава по-голямо от $\Delta P_{ел.заг.}$. Електрическите характеристики ни помагат да определим при какъв ток на дъгата се постига най-добра производителност на пещта при ниска специфична мощност, т.е. определя се режимът на максимална производителност чрез подходяща настройка на автоматичния регулатор на мощност.



Фиг. 13.5. Електрически характеристики на електродъгова пещ

Електродъговите пещи са сложни технологични агрегати, които се характеризират със специфичен разход на енергия, общ к.п.д., себестойност на продукцията и др. Оптималната работа по един от тези показатели изисква различен работен ток. Работните характеристики дават връзка между работния ток (тока на дъгата) I_2 , специфичният разход на електрическа енергия, ω , [kWh/Mg], производителността g , [тон/h], специфичното време за топене на материала t , [h/Mg], и общия к.п.д. η , отчитащ топлинните и електрически загуби, фиг. 13.6.

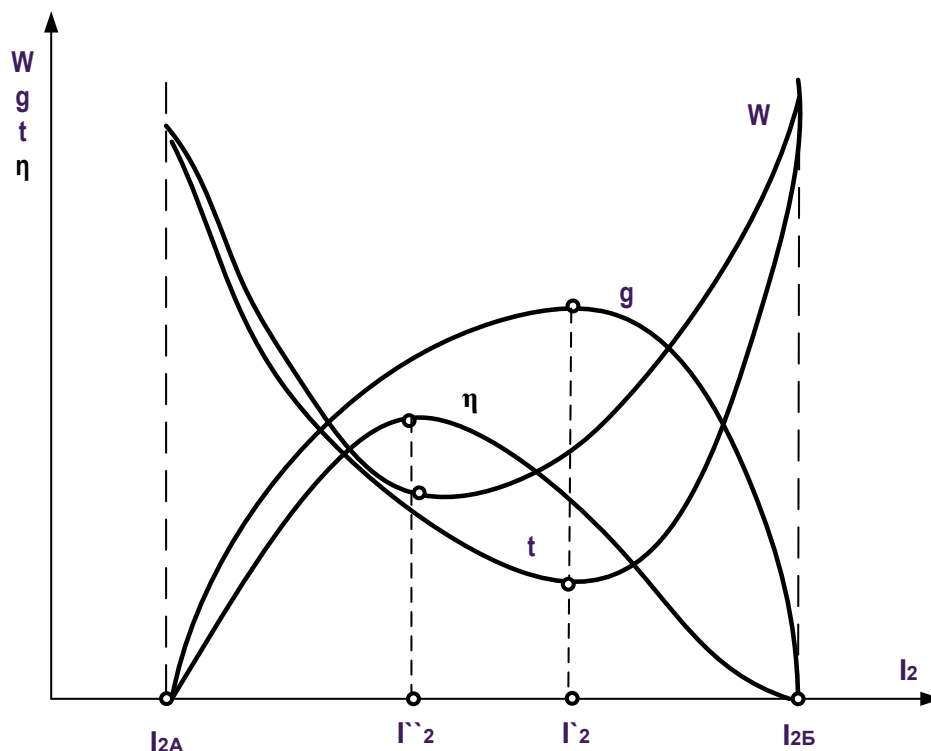
За конкретна пещ за периода на топене са известни мощността на топлинните загуби $P_{ТЗ}$, които може да се приемат за постоянни, т.к. не зависят от работния ток. За производството на конкретен продукт е известно теоретичното количество/разход на енергия ω_0 , необходимо за разтопяване на 1Mg материал, например за стомана $\omega_0 = 300$ kWh/Mg. Известни са също така номиналният капацитет на пещта G , [Mg], изразходваната активна енергия E_a , [kWh], за времето за топене T , [h].

Следователно,

$$E_a = P \cdot T \quad \text{и} \quad G = g \cdot T$$

Специфичният разход на електрическа енергия ω ще бъде:

$$\omega = \frac{E_a}{G} = \frac{P}{g}$$



Фиг. 13.6. Работни характеристики на електродъгова пещ

Производителността g може да се определи с изказа:

$$g = \frac{P_{\text{пол}}}{\omega_o},$$

$$P_{\text{пол}} = P - P_{\text{ел.з.}} - P_{\text{т.з.}},$$

където: $P_{\text{пол}}$ – полезната мощност, изразходвана при топене.

Общият к.п.д. ще бъде произведение от топлинния и електрически к.п.д.:

$$\eta = \eta_{\text{е.}} \cdot \eta_{\text{т}} = \frac{P - P_{\text{ел.з.}}}{P} \cdot \frac{P_{\text{д}} - P_{\text{т.з.}}}{P_{\text{д}}} = \frac{P_{\text{пол}}}{P}$$

Величините ω , g , t и η зависят от работния ток. Диапазонът на работните токове е в границите от I_{2A} до I_{2B} , фиг. 14.6. I_2' е работен ток, при който пещта има оптимален електрически режим и осигурява максимална производителност. I_2'' е работен ток, при който пещта има оптимален електрически режим при минимален разход на електрическа енергия.

Двата тока винаги се различават, като:

$$I_2'' < I_2'$$

Тези два тока определят оптималната зона на работа на пещта по един от двата оптимални режима.

Тема 14. ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ НА ИНДУКЦИОННИ ПЕЩИ

I. Общи сведения

Индукционното нагряване намира широко приложение при топене на метали (стомана, чугун, цинк, сплави на мед и алуминий и др.) като в сравнение с другите методи притежава редица предимства: безконтактно подаване на енергия в нагряваното тяло, достига на практика до всяка желана температура без ограничение, висока производителност и добри санитарно-хигиенни условия.

Принципът им на работа се основава на прехвърляне по електромагнитен път на електрическа енергия от тоководещия контур (индуктор) към разтопяемия метал като дълбочината на проникване на тока Δ се определя с помощта на следния израз:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{ч}} \cdot \omega \cdot \gamma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{ч}} \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \mu_{\text{ч}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}} \\ = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_{\text{ч}} \cdot f}}, [m]$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad \mu = \mu_{\text{ч}} \cdot \mu_0 \quad \mu_{\text{ч}} = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \gamma = \frac{1}{\rho}$$

където:

- ρ – специфично електрическо съпротивление;
- γ – специфична електрическа проводимост.

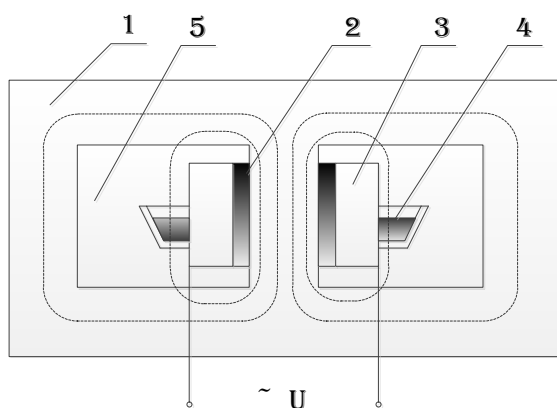
За даден материал са известни ρ и $\mu_{\text{ч}}$ и следва да се избере подходяща честота f , за да се получи желаната дълбочина на проникване Δ . В зависимост от принципа на индуктивното пренасяне на електрическата енергия от захранващата мрежа към разтопявания метал индуктивните печи се делят на две големи основни групи:

- индукционни канални печи;
- индукционни тигелни печи;

II. Индукционни канални печи

Индукционните канални печи са изградени от една или няколко индукционни единици изпълнени еднофазно или трифазно. При тях стопилката играе роля на вторична намотка на трансформатора, а магнитният поток се затваря през магнитопровод от електротехническа стомана – фиг. 14.1.

Нагряването на стопилката се осъществява за сметка на трансформация на електрическата енергия от намотката към стопилката, която извършва конвекционно топлинно движение в канала на печта, прегряването на стопилката се ограничава от допустимата мощност в канала. Обикновено тези печи се захранват от мрежи с ниско напрежение и промишлена честота, вместимостта им достига до 50÷100 тона, а мощността им е в границите от 1000÷4000 kW.



- 1 – Магнитопровод;
- 2 – Изолационен етернитов цилиндър
- 3 – Индуктор (първична намотка)
- 4 – Канал с метал (вторична намотка)
- 5 – Канал

Фиг. 14.1. Индукционна канална пещ

Коефициентът на мощността зависи от вида на разтапяния метал и е в границите $0,4 \div 0,5$ при топене на мед и алуминий, а $0,6 \div 0,7$ при топене на месинг, бронз и други. Предвид ниските стойности на $\cos\varphi$ се налага компенсиране на реактивна мощност, като кондензаторните батерии се включват без средства за регулиране на мощността им, понеже изменението на консумираната реактивна мощност в процеса на топене е незначително. Продължителността на технологичния процес е $5 \div 6$ часа. За регулиране на мощността се използват регулируеми автотрансформатори. Пещи с мощност над 1000 kW се включват към напрежение $6 \div 10 \text{ kV}$ чрез специални автотрансформатори.

Принципът на действие на каналните пещи изисква наличие на постоянно затворена вторична верига, поради което те работят с остатъчен обем стопен метал, най-често $25 \div 30 \%$ от обема на пещите. Втвърдяването на стопилката в канала е недопустимо.

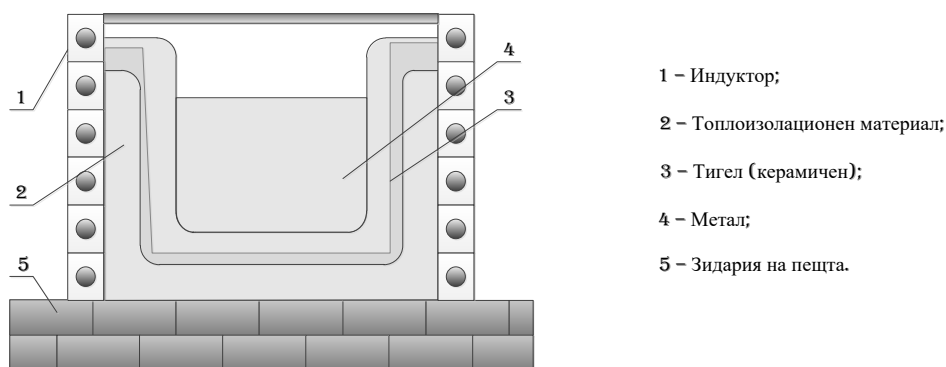
III. Индукционни тигелни пещи

При тези пещи магнитният поток, създаден от тока в първичната намотка (индуктор), преминава през тигела в материала (фиг. 14.2). Под действието на този магнитен поток в материала протичат токове, които го нагряват и разтопяват. В тези пещи магнитният поток се затваря през въздуха, поради което консумираната реактивна мощност е от $5 \div 10$ пъти по-голяма от активната мощност на пещта: $\cos\varphi = 0,1 \div 0,2$.

В зависимост от електрическите свойства на материала, използван за изработка на тигела, индукционните пещи могат да се разделят на пещи с непроводящ тигел и проводящ тигел.

Към първата група се отнасят пещите с диелектрически керамичен тигел, предназначени за топенето на метали. В тези пещи металът се загрева от индуктирания в него ток, а дебелината на тигела представлява въздушна междина между тигела и материала.

Към втората група се отнасят пещите с метален, графитен и графитно-шамотен тигел притежаващи по-голяма електрическа проводимост. В зависимост от дебелината на тигела загряването се осъществява или чрез топлоотдаване (дебелостен тигел) или по електро магнитен път както при пещите с диелектричен тигел.



Фиг. 14.2. Индукционна тигелна пещ

По честотата на захранващото напрежение индукционните тигелни пещи биват:

- 1) високочестотни – захранвани от лампови генератори;
- 2) с честота от $150 \div 1000 \text{ Hz}$ – захранвани от тиристорни преобразуватели на честота;
- 3) с честота $150 \div 250 \text{ Hz}$ – захранвани от статични умножители на честота;
- 4) с повишена честота – захранвани с понижавачи трансформатори от електроснабдителната система.

Специални проблеми възникват при захранването на тигелните пещи с напрежение с промишлена честота, които се използват за топене на чугуни и цветни метали. Обикновено това са еднофазни консуматори с мощност от няколко стотин до няколко десетки хиляди kW и имат естествен коефициент на мощността в границите: $K_M = 0.1 \div 0.2$. По време на технологичния цикъл (до 3 часа) изменението на консумираната активна мощност е от 1.3 до 2 пъти.

По характера на работната среда индукционните тигелни пещи могат да се разделят на открити (работещи при атмосферни условия) и вакуум пещи. Конструкцията на вакуумните пещи осигурява топене и леење в условията на вакуум, поради което количеството на разтворените в метала газове е много малко.

Обемът на индукционните тигелни пещи се изменя от 0.1 kg – за зъбни протези от неръждаема стомана и благородни метали до 120 тона за отливане на винтове за кораби от бронз.

Индукционните тигелни пещи имат големи предимства, най-важни от които са възможността да се получат чисти от химически примеси, метали и сплави, стабилност на свойствата на получаваните метали и сплави, висока производителност, възможност за пълна автоматизация, добри условия на труд и ниска степен на замърсяване на околната среда.

Недостатъци обаче са високата цена на електрообзавеждането, особено при честоти над 50 Hz и нисък к.п.д. при топене на метали с малко специфично съпротивление.

Тема 15. ЕЛЕКТРОЛИЗНИ УРЕДБИ С ИНДУСТРИАЛНО ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Общи сведения

Електролизата се използва преди всичко за получаване на чисти вещества: хлор, водород, мед, цинк, алуминий, магнезий, натрий, калий и др., но също така и за електролитно покриване с калай, цинк, хром, никел, алуминий и др.

Електролизата е физико-химичен процес, при който при преминаване на електрически ток през разтвор (електролит) се получава отделяне върху електродите на съставните части на разтвореното вещество или на други вещества, получени при вторични реакции. Положителният електрод се нарича анод, а отрицателният – катод, положителните йони – катиони, а отрицателните – аниони. Електролитите са разтвори на киселини, соли или основи. Молекулите на електролита под действието на разтворителя се разпадат на положителни и отрицателни йони. Молекулите на металите и водорода образуват положителни йони, а молекулите на неметалните съставки на електролита – отрицателни йони. Когато се приложи електрическо напрежение на два електрода, потопени в електролит, под действието на електрическото поле, йоните се привеждат в движение: положителните йони се преместват към катода, а отрицателните – към анода. Когато йоните достигнат електродите, те се отлагат на тях или влизат в химична реакция с тях. При прилагане на електрично поле в електролита положителните и отрицателните йони се задвижват съответно към анода и катода, където приемат и отдават електричен заряд. Така те се превръщат в неутрални атоми и радикали и се отделят върху електродите като първични продукти. Като правило получените първични продукти при електролизата влизат в химична реакция с електродите или разтворителя, при което се получават вторични продукти.

Електролизните процеси и количествените зависимости се подчиняват на законите на Фарадей.

Първи закон на Фарадей – *Масата m на отделеното върху електрода вещество е правопропорционална на заряда q , преминал през електролита:*

$$m = k \cdot q$$

където: k – електрохимичен еквивалент;

m – маса на един йон;

q – заряд на едни йон.

Втори закон на Фарадей – *Електрохимичният еквивалент на веществото е правопропорционален на химичният еквивалент:*

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z}$$

където: Z – валентност; A – атомно число; A/Z – химичен еквивалент; $F = e \cdot N_A = 96485 \text{ C/mol}$ – число на Фарадей.

Химичният еквивалент е отношението на атомното тегло на веществото A и валентността му Z . За отделяне на един на един грам-еквивалент на което и да е вещество е необходимо едно и също количество електричество – 96500 C или 26,8 Ah (число на Фарадей). По-често при електролизата се използва електрохимичният еквивалент на веществото. Това е количеството вещество, отделено при електролизата при протичане през електролита на количество електричество 1 Ah (химичният грам-еквивалент, разделен на 26,8 Ah).

Двата закона могат да се представят така:

$$Q = \alpha \cdot I \cdot t,$$

където: Q – масата на веществото, отделено от електролита, g ;
 I – ток на електролита, A ; t – време на протичане на тока, h ;
 α – електрохимичен еквивалент, g/Ah .

Отделеното вещество при електролизата Q е теоретично. Действителното количество отделено вещество е по-малко от теоретичното поради загуби за странични електрохимични процеси, нагряване, токови утечки, къси съединения между катода и анода, загуба на вещество от отделеното на катода и др. Отношението на действително отделеното вещество Q_d към теоретичното се нарича „коэффициент на използване на тока“ или „изход по ток“ – η_t :

$$\eta_t = \frac{Q_d}{\alpha \cdot I \cdot t} \cdot 100\%$$

За да има електролиза, е необходимо напрежение, което трябва да се доведе до електродите. Минималното е.д.н., което трябва да се приложи на електродите, за да протича непрекъснато електрически ток през електролита и да се отделя вещество на електродите, се нарича потенциал на разлагане на електролита. Този потенциал е различен за всяко вещество. Когато в един електролит има йони на различни вещества, най-напред се отделят тези йони, за които е необходим по-малък потенциал за разлагане на електролита. По тази причина при водни разтвори на соли на метали чрез електролиза могат да се получат метали, за които потенциалът за отделяне е по-малък от този за отделяне на водорода. Ако е по-голям, електролитът не трябва да съдържа водородни йони. На практика приложеното напрежение на електродите трябва да бъде по-голямо от теоретичния потенциал за разлагане на електролита, поради наличието на други явления, съпътстващи технологичния процес: поляризация, плътност на тока, температура на електролита и др.

Важен показател за процеса на електролиза, който най-добре позволява да се оцени ефективността на работата е т.нар. *изход по енергия*.

Това е теоретичното количество електрическа енергия W при електролиза за единица вещество. Получава се като се умножи теоретично необходимото количество електричество за изход по ток 100% с теоретичния потенциал за разлагане на електролита. В действителност

изходът по ток е под 100%, приложеното напрежение трябва да е по-високо, следователно изразходваната енергия при постоянния ток W_1 ще бъде по-голяма от теоретичната W . *Изходът по енергия η_e* ще бъде:

$$\eta_e = \frac{W}{W_1} \cdot 100\%$$

На практика при добиването на метали чрез електролиза вместо *изход по енергия* се използва друг показател – абсолютното количество метал в грамове, отделено от 1 kWh енергия на постоянния ток, наричано *изход по метал* за 1 kWh.

При електролизата голямо значение има плътността на тока – за повърхността на катода (катодна плътност) или анода (анодна плътност). Очевидно с нарастване на плътността на тока ще нараства и производителността на една електролизна вана, но по-голяма плътност на тока води до повишаване на пада на напрежение във ваната, следователно и до повишаване на загубите на електрическа енергия и намаляване на изхода по енергия. Затова при конкретните условия на работа трябва да се определи оптималната плътност на тока, под която е икономически и енергийно нецелесъобразно да се работи.

Днес електролизата се използва широко в индустрията и технологиите. Благодарение на електролизата много метали се извличат от рудите и се обработват допълнително. Така че, когато рудата или концентрираната руда (концентрат) се обработват с реагенти, металът преминава в разтвор, след което металът се отделя от разтвора чрез електро-екстракция. След това чистият метал се утаява на катода. По този начин се получават цинк, мед, кадмий. Металите се подлагат на електрорафиниране, за да се елиминират примесите и да се превърнат съдържащите се примеси във форма, удобна за по-нататъшна обработка. Металът, който трябва да се почисти, се отлива под формата на плочи и тези плочи се използват като аноди при електролиза. Когато токът премине, металът на анода се разтваря, преминава под формата на катиони в разтвора, след това катионите се изхвърлят на катода и образуват отлагане на чист метал. Примесите на анода не се разтварят – те падат като анодна утайка или преминават в електролита, откъдето непрекъснато или периодично се отстраняват.

II. Електролизен процес за добиване на цинк

Технология на електроекстракция на цинк от разтвор на цинков сулфат

Електролиза на цинка от неутралния разтвор на цинков сулфат е последният стадий от хидрометалургичното производство на цинка. При електролизата на цинка под действието на постоянен електрически ток от очистения от примеси неутрален разтвор на цинков сулфат се отделя метален цинк. Този процес се нарича още *електроекстракция на цинка* и се провежда в електролизни вани, като между потопените в електролита алуминиеви катоди и оловни аноди се прилага постоянно напрежение. При

преминаването на постоянния ток през ваната върху катода се отделя метален цинк. На анода, който е неразтворим, се отделя кислород, а в разтвора се получава сярна киселина. Продължителността на отлагане на цинка на катода е 24 часа. При увеличаване на времето за отлагане, неспецифичният разход на ток за сметка на разтварянето на цинк се увеличава, затова отлагането на цинка от 36 до 48 часа се допуска само при изключителни случаи - при висококачествени разтвори. Сумарната реакция на електролитния процес е следната:

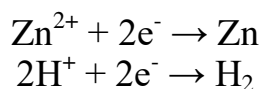


От това следва, че при протичането на ток в разтвора концентрацията на цинк в разтвора намалява съдържанието на цинк и се увеличава концентрацията на сярна киселина. Разтворът във ваната се нарича *отработен електролит* и съдържа Zn: 40÷60 g/l и H₂SO₄: 100÷200 g/l.

Във ваната постъпва постоянно очистен разтвор на цинков сулфат с рН 5,2 и съдържание на цинк 120÷150 g/l, който се нарича *неутрален електролит*. Обемът на постъпващия във ваната неутрален електролит (V) се определя от съдържанието на цинк в него, от количеството на отделения за единица време на катодите цинк и от съдържанието на цинк в отработения електролит. За да се осъществи по-интензивно разбъркване от ваната се извежда определен обем отработен електролит, като част от него се връща отново във ваната с помощта на циркулационна система от помпи и сборници, а останалата част се връща за разтваряне на цинка в стадия на извличането. При електролизните процеси токовата верига е съставена от външна верига – източник на постоянен ток и вътрешна верига – електролит, в който се движат йони. На границата на тези две вериги, т.е. на повърхността на електродите протичат химични реакции, съпроводени с приемане и отдаване на електрони.

Катодни процеси

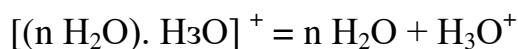
При преминаването на електрически ток през разтвора на катода са възможни следните реакции:



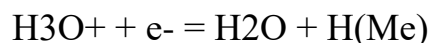
Елементите притежават определен нормален електроден потенциал при нормални условия и този потенциал е приблизително равен на техния отделителен потенциал. Ако в системата се съдържат няколко различни йона, на катода ще се отделят само тези йони, които имат по-електроположителен потенциал от съпътстващите го йони.

Отделянето на хидратирания водороден катион [(n H₂O). H₃O]⁺ на електрода във вид на водород е сложен процес, който според съвременните схващания се състои от последователното протичане на следните процеси:

1. Дехидратация на хидроксониевия йон



2. Разйонизиране на дехидратираня йон върху метала



3. Образуване на водородни молекули върху метала



4.Отделяне на газовите молекули от металния електрод



Цинкът се отделя на катода в резултат на три последователни процеса:

1. Разйонизиране на цинка: $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$

2. Навлизане на новоотделените цинкови атоми в кристалната решетка;

3. Допълване концентрацията на цинковите катиони в прикатодния слой чрез дифузия от електролита.

Кой от двата процеса ще протече, зависи от условията, при които се провежда електролизният процес. Ако процесите при електролизата протичаха при обратими условия, би трябвало да се отделя само водород, т.к. той е много по-електроположителен елемент от цинка.

$$\begin{aligned} E_{\text{H}/\text{H}^+} &= 0,00 + 0,058 \lg C_{\text{H}^+} \\ E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}} &= -0,76 + 0,029 \lg C_{\text{Zn}^{2+}} \end{aligned}$$

Следователно, ако процесът протичаше обратимо, съвместното отделяне на водород и цинк е невъзможно. Съвместното отделяне на водорода и цинка е възможно, ако отделителните потенциали на двата елемента са равни:

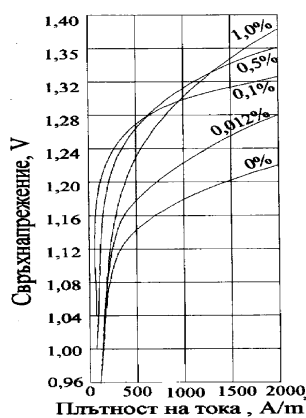
$$E_{\text{H}/\text{H}^+} = E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}$$

При цинковата електролиза на катода преимуществено се отделя цинк. Възможността при създадените условия да се проведе електролизен процес е свързана с увеличаване отделителния потенциал на водорода, т.нар. свръхнапрежение.

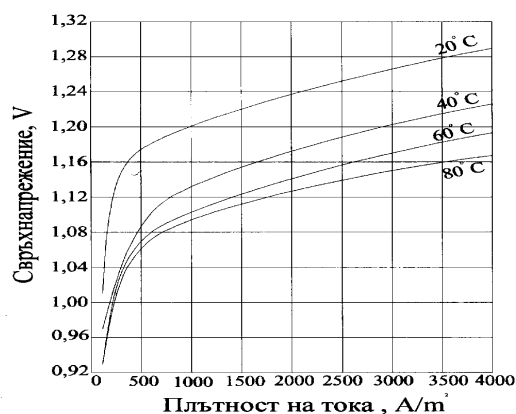
Свръхнапрежението на водорода представлява разликата между действителния потенциал, необходим за отделянето на водорода върху катод от даден метал при определени условия и нормалния му електроден потенциал, измерен при отделянето му върху платинов електрод. Действителният потенциал се определя при реалните условия на електролизата.

Основни фактори, които оказват влияние върху свръхнапрежението на водорода са: плътността на тока, температурата на електролита, съдържанието на примеси, наличието на повърхностно активни добавки, състоянието на катодната повърхност, вида на катодния метал и др. При електролизата на разтвор на цинков сулфат като катода се използват алуминиеви листове, които бързо се покриват със слой от цинк и се

превръщат в цинкови. Свръхнапрежението на водорода върху цинковите катоди е високо (1,7 V) и не позволява отделянето на водород. Увеличението на плътността на тока води до увеличение на свръхнапрежението на водорода.



Фиг. 15.1.

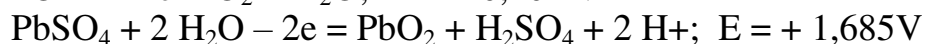
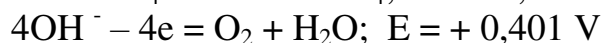


Фиг. 15.2.

Повишаване на концентрацията на сярната киселина в разтвора води до повишаване концентрацията на водородни йони, което води до намаляване на свръхнапрежението на водорода. Присъствието на електроположителни елементи (мед, антимон, германий, кобалт, селен, никел) в качеството на микропримеси също води до намаляване на свръхнапрежението на водорода. По-електроположителните елементи се отделят на катода, като образуват с цинка микродвойки, в които цинкът е анод, а положителният елемент е катод. Върху катодните участъци свръхнапрежението на водорода спада и върху тези участъци започва да се отделя водород, а цинкът от анодните участъци се разтваря обратно в електролита. Поради това присъствието на микроелементи е вредно за електролизата. Повишението на температурата на електролита понижава свръхнапрежението на водорода. За да се поддържа високо свръхнапрежението на водорода при разйонизирането му върху цинка, необходимо е да се повишава плътността на тока, електролитът да се охлажда, неутралният разтвор да е очистен от примеси.

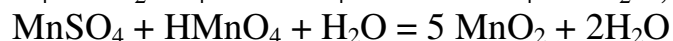
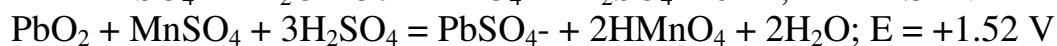
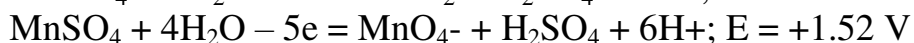
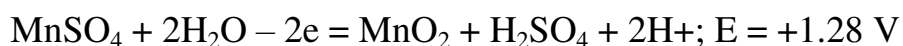
Анодни процеси

На анода се извършват следните окислителни електрохимични реакции:



При поставяне във ваната на нови оловни електроди, най-напред протича реакцията, при която се получава оловен сулфат. Анодът постепенно се покрива с непроводим слой от оловен сулфат, като плътността на тока в непокрытите участъци нараства и се увеличава потенциалът им.

Поради високото свръхнапрежение на кислорода при разйонизирането му върху анода, започва да протича реакцията, при която се образува оловен двуокис и в разтвора се регенерира сярна киселина. Така оловният сулфат се превръща в добре проводим оловен двуокис, който покрива анода. Оловният двуокис се образува отначало в порите на ципата от оловен сулфат, а след това цялата ципа се заменя с оловен двуокис. Оловният двуокис има добра електропроводимост. Той представлява работната повърхност върху която се отделя кислород. Плътността на тока се нормализира и върху оловният двуокис започва да се отделя кислород. Слой от оловен двуокис покрива анода и го защитава от разтваряне, но с течение на времето той се напуква и руши и анодът се износва. След покриването на анодната повърхност с оловен двуокис при електролизата 99,2% от количеството електричество на анода се изразходва за образуването на кислород, а само 0,67% за образуване на оловен двуокис и 0,13% за други странични процеси. В цинковия електролит се съдържат Mn^{2+} , Cl^- и F^- йони, които участват във взаимодействията на анода. На анода се извършва електрохимическо и химическо окисление на мангана от разтвора. Шламообразуването се базира на следните реакции:



Оловният двуокис е силен окислител и окислява частично двувалентния манган до седемвалентен. Наличието на перманганена киселина, по-специално на перманганения йон оцветява разтвора в розово.

Образувалата се ципа от оловен двуокис и манганов двуокис предпазват анода от бързо разрушаване. В порите на оловния двуокис обаче протичат процесите на разтваряне на оловото, така че след известно време ципата от оловен двуокис може да се отцепи от анода, и така анодът се руши. Част от мангановия двуокис пада във вид на шлам, адсорбирайки част от вредните примеси (As, Sb, Ge, Se) и ги задържа във ваната, в резултат на което те се натрупват и това налага ваните периодически да се почистват от шлама. Електролитът може да съдържа до 2-3 g/l манган, който е необходим за образуване на слой от манганов двуокис върху анода. По-голямото количество манганови йони ще доведе до образуване на по-голямо количество шлам.

Основни технико-икономически и технологични показатели на електролизата

Електролизните процеси се подчиняват на законите на Фарадей. Съгласно първия закон количеството вещество, отделено на електрода при електроекстракцията, е правопрпорционално на количеството електричество, преминало през разтвора.

$$Q = k.I.t$$

където: Q - количеството на метала, отделено на катода, g;

k - електрохимичният еквивалент, g/Ah ;
 I - силата на тока, A ;
 t - времето.

С помощта на втория закон може да се определи стойността на електрохимичния еквивалент на цинка. Съгласно него при преминаване на едно и също количество електричество $1F = 96485 \text{ C}$ през различни електролити на катода се отделят вещества, чиито количества са пропорционални на еквивалентните тегла на тези вещества. За отделянето на един грам-еквивалент от което и да е вещество е необходимо едно и също електричество, равно на:

$$1F = 96485 \text{ C}.$$

Следователно, 96485 C или $96485/3600 = 26,8 \text{ Ah}$ отделят $65,4/2 \text{ g}$ цинк. За 1 Ah ще се отдели $32,7/26,8 = 1,219 \text{ g}$ цинк.

Коефициент на използване на тока

Той е отношението на фактическото количество метал, отделено на катода и това количество метал, което теоретично би следвало да се отдели при протичане на същото количество електричество:

$$\eta_i = \frac{Q_{np}}{Q_t} \quad \text{или} \quad \eta_i = \frac{Q_{np}}{q \cdot I \cdot t} \cdot 100 \%$$

Коефициентът на използване на тока е един от най-важните показатели на електролизата, т.к. от него зависи разходът на електрическа енергия при производството на единица маса цинк. Той зависи от всички фактори, от които се влияе свръхнапрежението на водорода – зависи от състава и чистотата на разтвора, времето за нарастване на катодния цинк, състоянието на електродното стопанство, качеството на обслужване на ваните и други фактори и се движи от 87% до 92%. Понижаването на плътността на тока и увеличаването на дебелината на катодната утайка водят до понижаване на коефициента на използване на тока. По същия начин действат и повишаването на концентрацията на сярна киселина и температурата на електролита. При едно и също съдържание на сярна киселина коефициентът е толкова по-голям, колкото е по-висока прилаганата плътност на тока. Коефициентът на използване на тока се понижава при намаляване на концентрацията на цинк в електролита (под 50 g/l). Влияние върху коефициента на използване на тока оказват тези примеси, които понижават свръхнапрежението на водорода и спомагат за корозията на цинка.

Напрежение на ваните

Напрежението на ваната има голямо значение за електролизата, т.к. при постоянна плътност на тока определя разхода на електроенергия. Напрежението между два съседни електрода обуславя напрежението във ваната. При преминаването на електрически ток през ваната с електролит на цинков сулфат на електродите се отделя цинк и кислород.

Електрическата енергия се превръща в химическа. За да започне реакцията е необходимо да се приложи на електродите определено минимално напрежение. Величината на това напрежение зависи от химическата природа на веществото. Теоретичното напрежение при електролизата на цинка е 2,35 V. Вследствие на намаляване на концентрацията на йоните, които вземат участие в катодния и анодния процес, близо до повърхността на електродите възниква обратна електродвижеща сила, която трябва да се преодолее, за да се разложи цинковият сулфат. Фактически напрежението в практиката на различните производители се колебае от 3,2 до 3,4 V на вана. В него влиза и свръхнапрежението на водорода. Разликата между фактическото и теоретичното напрежение на разлагане на електролита от цинков сулфат се обяснява със съществуващите съпротивление на ваната и поляризация на електродите. При паралелно свързване на електродите напрежението между тях характеризира *напрежението на ваната*. То е равно на:

$$U_B = U_P + U_{El}$$

където: U_P – напрежението, необходимо за протичане на катодните и анодните процеси;

U_{El} - напрежението, необходимо за преодоляване съпротивлението на електролита;

U_B - напрежението, необходимо за преодоляване съпротивлението на шините, контактите, електродите и шлама.

Напрежението на ваната зависи от редица фактори: плътността на тока, състава и температурата на електролита, разстоянието между електродите, поддържането на контактите, чистенето на анодите. Чрез изменението на посочените фактори може да се регулира режимът на електролизата и да се намалят напрежението на ваната и разходът на електроенергия.

Плътност на тока

Под плътност на тока се разбира силата на тока в амperi, отнесени за единица електродна повърхност (F_k – площ на електрода). Катодната плътност се изчислява по формулата:

$$d_K = \frac{I}{F_K}, A/m^2$$

Плътността на тока е важен фактор при електролизата, т.к. само при достигане на определена минимална стойност на тока, свръхнапрежението на водорода става достатъчно високо, при което започва отделянето на цинк върху катода. Плътността на тока определя производителността на електролизната вана при даден брой катода в нея. С увеличаване плътността на тока расте и свръхнапрежението на водорода, при което се създават благоприятни условия за отделяне на цинка, увеличава се коефициента на използване на тока. Плътността на тока влияе съществено

върху напрежението на ваната и количеството на отделената топлина. Повишаването на плътността на тока прави по-интензивен анодния процес. В атмосферата на цеха постъпва кислород, който увелича със себе си сярноокисела мъгла и това влошава условията на труд. Повишаването на плътността на тока има положителен ефект до определена граница. Установено, че най-благоприятната плътност е $450 \div 500 \text{ A/m}^2$.

Разход на електроенергия при електролизата

Разходът на електроенергия при процеса на електроекстракция на цинка е право пропорционален на напрежението на ваната U_B , силата на тока I и времето на неговото протичане t :

$$W = U_B \cdot I \cdot t, \text{ kWh}$$

Теоретичният разход на електроенергия за отделянето на един тон цинк е:

$$W = \frac{E_{\sim}}{Zn_{\text{доб}}} \cdot 1000, \text{ kWh/t}$$

където: $E_{\sim}$ – променливотокова електрическа енергия, kWh ;

$Zn_{\text{доб}}$ – добивен цинк; kg .

Действителният разход на електроенергия за електроекстракцията на един тон цинк е значително по-висок от теоретичния и се движи от 3200 до 3380 kWh . Това е така, защото коефициентът на използване на тока никога не достига теоретичната стойност и напрежението на ваната е значително по-високо от разложителното напрежение на цинка в цинковия сулфат. Всички фактори, които влияят върху коефициента на използване на тока и върху напрежението на ваната дават отражение и върху разхода на електроенергия.

Основни фактори, влияещи върху процеса електролиза на цинк:

- Температурата – оказва силно влияние върху коефициента на използване на тока;
- Плътността на тока – влияе върху производителността на ваната;
- Киселинността на електролита – влияе върху напрежението на ваната;
- Междueleктродното разстояние.

За всяка плътност на тока съответства определена киселинност на електролита, при която разходът на електроенергия е минимален. Когато плътността на тока при електролизата е висока, съдържанието на сярна киселина в електролита трябва също да е високо. Колкото по-висока е плътността на тока при електролизата, толкова повече енергия се изразходва, т.к. нараства коефициентът на използване на тока, а това влияе на повишаване на напрежението на ваната. Факторите, които водят до намаляване на напрежението, в същото време могат да доведат до корозия на цинка, до намаляване на добива по ток. От съществено значение за

разхода на електроенергия е намаляването на междуелектродното разстояние.

Многобройните изследвания в световен мащаб са доказали, че при едно малко увеличение на междуелектродното разстояние се увеличава напрежението на ваната. При плътност 500 A/m^2 и при увеличение на разстоянието само с един метър, напрежението на ваната нараства с $0,012 \text{ V}$. Това нарастване на напрежението на ваната, отнесено към броя на ваните в един производствен мащаб би увеличил разходът на електроенергия с 1000 kW ! Ето защо тенденцията в световната практика е намаляване на междуелектродното разстояние и същевременно вземане на предпазителни мерки за предотвратяване на късите съединения. Изборът на оптимална плътност на тока, както и определянето на температурния и киселинен режим се определя от концентрацията на цинка в неутралния разтвор, от съдържанието на вредни примеси в него и от възможността за точно спазване на технологичния режим.

Състав на електролита

Концентрационна поляризация не се проявява, когато концентрацията на цинка в електролита е по-висока от $40\div 50 \text{ g/l}$. За това режимът на електролизата се поддържа така, че от постъпващия във ваните неутрален електролит да се изема само цинка над тази концентрация.

Оптималната киселинност на електролита във ваната (или оптималната концентрация на цинка в неутралния електролит) се избира въз основа на вида и съдържанието на примесите в електролита, желаната плътност на тока. За това в практиката на цинковите заводи съдържанието на сярната киселина в електролита варира в широки граници от 105 до 300 g/l .

Наличието на примеси в електролита се отразява съществено върху технико-икономическите показатели на процеса и върху качеството на получавания на катода цинк. Наличието на по-електроположителни примеси в електролита води до понижаване на свръхнапрежението, при което се засилва отделянето на водород, а също така при отделянето им върху катода те образуват с цинка микрогалванични двойки, което предизвиква обратното разтваряне на цинка, с което се намалява силно коефициента на използване на тока. Вредното им въздействие се усилва особено при повишаване на температурата на електролита, неговата киселинност, а също така и при едновременното присъствие на няколко примеси в него.

Влиянието на вредните примеси изисква строг периодичен контрол на състава на електролита и налага да се обръща изключително внимание на почистването на разтворите и предпазването им от случайни замърсявания, т.к. качеството на разтворите има основно значение за химическия състав на катодния цинк, за нормалното протичане на електролизния процес и за разхода на електроенергия.

За да се намали вредното влияние на микроелементите /кобалт и др./ в състава на електролита се включват колоидни добавки, които допринасят

за получаване на хубав, без дендрити катоден цинк. Такива добавки са туткал, желатин, арабска гума и водно стъкло. Колоидните добавки повишават свръхнапрежението на водорода и по този начин общото съпротивление на ваните, поради което е необходимо да се употребяват внимателно. В зависимост от чистотата на електролита във ваните се подава туткал от 100 до 500 g/t катоден цинк. При повишаване на циркулацията и работа с повишена плътност на тока, туткалът също се увеличава. Показатели за необходимост от колоидни добавки са наличието на дендрити и кобалтово разтваряне на катодния цинк. Под действието на различни окислителни колоидните добавки се разрушават бързо, поради което се налага те да се подават редовно през определен интервал от време.

Температура на електролита

Голямо значение за нормалното протичане на електролизния процес има и температурата, която се поддържа във ваните. При преминаване на електрически ток през ваните непрекъснато се отделя топлина съгласно закона на Джаул-Ленц. При положение, че тази топлина не се извежда непрекъснато, температурата във ваните би достигнала приблизително 80°C. При повишаване на температурата на електролита се намалява неговото специфично съпротивление и съответно напрежението на ваната. Същевременно се активизира вредното действие на примесите, увеличава се скоростта на корозия на цинка, засилват се и корозията на анодите и онечистването на цинка с олово. С повишаване на температурата на електролита се понижава свръхнапрежението на водорода на цинка. При чисти разтвори и оловно-сребърни аноди, температурата на електролита може да се поддържа в границите от 37 до 40°C. При неособено чисти разтвори температурата на електролита трябва да се понижи. При използването на оловни аноди тя трябва да се поддържа в границите от 28°C до 32°C. Поддържането на зададения температурен режим се осъществява посредством извеждане на излишната топлина. Извършва се въздушно охлаждане на отработения електролит в кулите за централно охлаждане. Охладеният електролит се смесва с неутралния разтвор преди постъпването му на електролиза. Широко разпространение е получило централното охлаждане на електролита извън ваните. Този метод изисква обратният отработен електролит да се охлади под температурата на електролита във ваните. Той се прилага при използване на многократна циркулация на електролита. Един от начините за централизирано охлаждане на електролита е пропускането му през вани-бункери, снабдени със серпентини. В някои заводи е въведено централизираното вакуумно-изпарително охлаждане на разтвора. При интензивно изпарение на водата от електролита под вакуум, разтворът се охлажда за сметка на скритата топлина на изпарението. Недостатъците на процеса са: високи капиталовложения и експлоатационни разходи за пара за ежекторите, вода за кондензация на парата и за почистване на отлагащия се калциев сулфат. В съвременните заводи с голяма производителност се извършва въздушно-изпарително охлаждане на електролита в кули, в които се вдухва въздух.

Електролитът се подава в горната част на кулата през оросително устройство, във вид на капки, струйки или пелена, той се стича в празното пространство на кулата или се стича като тънка пелена по пълнежа ѝ. Разтворът се охлажда за сметка на изпарението на вода от неговата повърхност и от друга страна, за сметка на предаването на топлина в резултат на разликата в температурите на течността и въздуха, вдухван в кулата. Количеството на изпаряваната вода зависи от температурния пад в охлаждащата кула, който от своя страна се влияе от климатичните условия, което е основния недостатък на този метод.

Циркулация на електролита

Циркулацията на електролита се осъществява, като заедно с неутралния разтвор във ваните се подава известно количество отработен електролит. Така се създават условия отработеният електролит да се охлажда извън ваната. Колкото по-голямо е количеството на изведения от ваната отработен електролит, толкова по-малък е падът на температурата, който трябва да се осъществи в охлаждащата апаратура. Циркулацията на електролита се подобрява при увеличаване на разстоянието между електродите, но при това се увеличава напрежението на ваната. Оптималната циркулация на електролита е равна на 1/100 част от стойността на плътността на тока. (напр., циркулацията трябва да е 5-кратна при плътност на тока 500 A/m^2). Циркулацията на електролита във ваните е необходима за изравняване концентрацията на цинка в целия обем на ваната и поддържането в прикатодния слой на постоянна концентрация на цинкови йони. При повишени плътности на тока (над 450 A/m^2) е необходима усилена циркулация на електролита, която се постига по два начина:

- чрез създаване на ускорена циркулация на електролита през ваните, за сметка на подаваните значителни количества отработен електролит заедно с неутралния разтвор;

- чрез специални ограничители на анодите, отделящите се газове (кислород) създават непрекъснат подем на електролита в междуелектродното пространство отдолу нагоре. За този вид циркулация спомага загряването на електролита при протичането на електрическия ток през него. Електролитът на повърхността се охлажда и в краищата на ваната се устремява надолу.

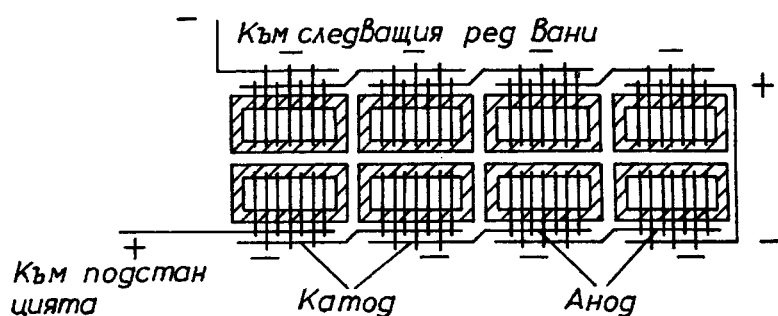
На практика се използват и двата начина едновременно. При малко разстояние между електродите и ниска концентрация на цинк в отработения електролит усилената циркулация е особено необходима.

Устройство на електролизните вани. Аноди и катоди.

Ваната за електроекстакция на цинка е правоъгълен съд с дължина $2\div 3 \text{ m}$, широчина $0,9\div 1,1 \text{ m}$, дълбочина $1\div 1,5 \text{ m}$ и обем $2,5\div 3 \text{ m}^3$. Тя е снабдена с приспособления за поставяне на токозахранващи шини и за подаване и отвеждане на електролит. При електролизата всички вани са свързани последователно посредством токозахранващи медни шини, като

образуват една серия, а едноименните електроди в една вана са свързани паралелно. От практиката на металургичните заводи за ваните може да се обобщи, че ваните могат да бъдат направени от дърво, желязо или стоманобетон, асфалтобетон. За облицовка от вътрешната страна се използва олово, киселиннорезистентни плочки, гума, винилпласт или полиуретан. От външната страна ваните са измазани с битум или лак, а челните стени са покрити с винилпласт. Облицованите с олово и винилпласт вани издържат 4÷7 години.

Непрекъснато се правят изследвания за киселиннорезистентни материали за изработване на необлицовани вани. Приложение са намерили ваните, изработени от полимербетон, армиран със стъклопластови пръти. Ваните са поставени на стоманобетонни греди върху стъклени или порцеланови изолатори. Всеки ред вани или каскада има разпределителен улей, от който електролитът постъпва във ваните посредством винилпластови, стъклени или гумени сифони и улей за отвеждане на отработения електролит. Отработеният електролит изтича от преливници, които са разположени от срещуположната страна на сифона и са изработени от същия материал като облицовката на ваните. Отработеният електролит постъпва през улеите в сборници, от които с помпи и киселиннорезистентни тръбопроводи се разпределя – една част се изпраща за извличане и около четири части се смесват с неутралния разтвор и се връщат във ваните. При електроекстракцията на цинка е необходим ток с голяма стойност при напрежение на ваната 3,6 V. Затова ваните се подреждат в серии от голям брой последователно. Прилагат се две схеми за подреждане и свързване на ваните. И при двете схеми ваните са свързани в серия една с друга последователно, като едноименните електроди във всяка вана са свързани успоредно.



Фиг. 15.3. Схема на свързване на ваните

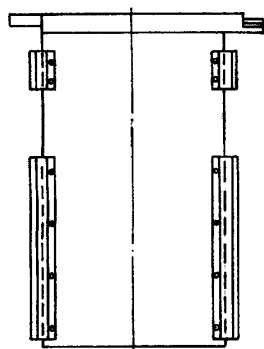
По едната схема ваните са разположени в редове, включващи 20÷30 вани. Изработват се като блок, разделен от напречни прегради или като самостоятелни вани, допрени с надлъжните си стени. При това дългата ос на всяка вана е перпендикулярна на прохода между редовете.

Токът от токоизправителната подстанция се подава от пакет от алуминиеви шини на пакет от медни шини, които се свързват съответно с главната анодна или катодна шина, закрепена на дългата страна на челната вана. Токът в блока се подава от вана на вана през леки междинни шини. Контактът се осъществява чрез катодни и анодни щанги, които лежат на

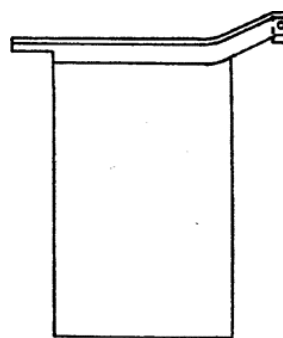
шините. Описаната схема се характеризира с малки загуби на ток и малки капиталовложения за шини. Разпределението на тока между всички катоди е неравномерно, особено при едновременното изваждане на комплект катоди от ваната за отлепяне на цинка. При другата схема, която се прилага и у нас, ваните се подреждат в двойни редове, съставени от допрени с късите си стени вани. Всички вани са свързани последователно в серия, чрез тоководещи шини. В сравнение с първата схема в този случай разходите за шини и загубите на ток са значително по-големи, но обслужването на ваните е по-лесно и удобно, контактите се запазват от замърсяване с електролит при изваждане на катодите.

Аноди – в електролизната вана, в зависимост от нейната дължина и възприетата плътност на тока се поставят 20÷45 анода. Анодите трябва да отговарят на следните изисквания:

- да притежават голяма електропроводимост;
- да не се разтварят в сярна киселина под действие на електрически ток;
- да са механически здрави;
- да са удобни за обслужване.



Фиг. 15.4. Принципно устройство на анод



Фиг. 15.5. Катод

Най-подходящи качества за направа на аноди има сплав на олово с 0,65÷1,0 % сребро. Анодите, които съдържат сребро или сребро и талий са с по-слаба корозия. Оловно-сребърните аноди притежават достатъчна устойчивост на огъване и разтворимост и издържат 2÷2,5 години. Те се изработват от валцовани листове или се изливат в специални форми с гладка или нагъната повърхност. Най-дълготрайни са валцованите аноди. Те се надраскват, за да задържат по-добре шлама. Дебелината на анода е 6÷8 mm. Най-горната, непотопяща се част на анода, се отлива от чисто олово за икономия на сребро. В нея се залива медна шина, която носи анода. В единия си долен край шината не е залята с олово и служи за контакт. От двете страни на всеки анод се прикрепят чрез нитове пресовани винилпластови изолатори. Те фиксират катодите между всеки два анода и създават условия за входяща циркулация на електролита. Отделящите се газове създават непрекъснат подем на електролита в междуелектродното пространство отдолу нагоре. Изолаторите възпрепятстват огъването на анодите, фиксират разстоянието между анода

и катода, не допускат къси съединения, осигуряват равномерно разпределение на тока между електродите, спомагат за намаляване разхода на ток. След формирането на повърхността на анодите, което трае $15 \div 20$ дни, онечистването на катодния цинк с олово се намалява от 3 до 5 пъти. В някои заводи новите аноди се поставят в отделни вани, в които при подходящ технологичен режим се ускорява формирането на анодите (предложените методи са за химическа пасивация на анодите, например чрез обработване с (флуорид).

Катоди – състоят се от катоден лист, щанга и контакт.

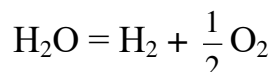
Катодният лист е от валцуван алуминий с размери 1100 mm дължина, 660 mm широчина и 4 mm дебелина. За да се ограничи дендритообразуването в края на катодите, те се правят с $2 \div 3$ cm по-широки и по-дълги от анодите. Алуминиевият лист се заваря за алуминиева щанга с Т-образен профил. На щангата откъм страната, на която ляга катодната шина, се запоява меден контакт. На двете вертикални стени на катода се слагат дървени или гумени ограничители, за да се улесни отцепването на цинка. Катодите във ваната са с един по-малко от анодите, за да се осигури двустранно, равномерно отделяне на цинка и на крайните катоди. Активната повърхност на катодите е $1,21 \div 1,25 \text{ m}^2$.

При електролизата на цинка от изключително значение е поддържането, чистотата и ремонта на електродите, а също така и почистването на ваните от шлам. Анодите се почистват редовно по график всеки $20 \div 30$ дни от натрупания по тях манганов шлам. От изправното състояние на катодите зависи лесното отлепване на катодния цинк от основите. Всеки $10 \div 15$ дни катодите от даден ред вани се заменят с почистени, а самите те отиват за основно почистване от полепналия в горната им част сулфат, за почистване на контактите, изправяне на кривите листи и шлайфане на катодната повърхност на шлайфмашина. Катодните контакти и шини се почистват ежедневно при снемането на катодния цинк. Снемането на цинка от катода се извършва без изключване на ваните от напрежението. От една вана едновременно се изваждат най-много $1/3$ от заредените в нея катоди, за да не се прекъсва електрическата верига. Цинкът се сменя ръчно от катодите на специални станози в цеха. Катодите се пренасят до станоката с електротелфери. Ръчното отлепяне на катодния цинк е най-трудоемката операция в хидрометалургичните цинкови заводи, където все още има ръчна здирка на цинка. Механичното отделяне на цинка изисква висока чистота на неутралния разтвор, която да гарантира получаването на катодна утайка с плътна, еднородна и ситно кристална структура.

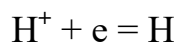
III. Електролизен процес за добиване на водород

За охлаждане на електрически двигатели и генератори се използва водород, който е с 14 пъти по-малка плътност от въздуха, вследствие на което загубите от триене и вентилация се намаляват около 10 пъти. Водородът се получава в електролизери, посредством разлагане на водата с

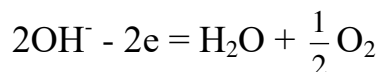
постоянен ток по метода на електролизата. Тъй като чистата (дестилирана) вода има нищожна проводимост, за увеличаването ѝ се използва калиева основа (KOH). При протичане на електрически ток през електролитен разтвор, на електродите се извършва дисоцииране на йоните и протича свързана с това химическа реакция. Процесът на електролиза на водата с получения водород и кислород се описва със следното уравнение:



При електролизата на катода се отделя водород, а на анода – кислород. Отделянето на водорода на катода се осъществява посредством разреждане на йона на водорода, превръщайки се в молекулен водород:



На анода хидроксилният йон се разрежда, разлагайки се на кислород и вода по следния начин:



Разделянето на водорода и кислорода в електролизера се осъществява с помощта на диафрагмени рами (диафрагми), пропускащи йони и непр пропускащи газове. Блоквата схема на работещ е представена на фиг. 15.6. Електролизерът представлява хоризонтален апарат, събран от еднакви елементи (диафрагмени рами, средни рами, биполярни електроди и прокладки), стегнати с помощта на крайни плочи и стягащи шпилки в пакет. Състои се от 50 клетки. Всяка клетка представлява пространство, ограничено от два електрода и диафрагмена рамка. Напрежението се подава на монополярните (еднополярни) електроди, разположени на крайните плочи. Всички междинни електроди са включени биполярно (двойно полярно). Биполярният електрод се състои от основен, кръгъл лист и два подвижни перфорирани електрода – анод и катод. Диафрагмената рама служи за закрепване на диафрагмата от азбестова тъкан, разделяща водородното и кислородното пространство и непозволяваща смесването на двата газа. В долната си част диафрагмената рама има два отвора за вход и циркулация на електролита, а в горната, пет отвора за отвеждане на водорода. Газовете се събират в колектори, а след това заедно с циркулиращия електролит през разширители, служещи за хомогенизиране на газотечната смес постъпват в разделителните колонки – РК.

Разделителните колонки са предназначени за отвеждане на газовете от електролита, за охлаждането му и за осигуряване на непрекъсната циркулация. Циркулацията на основата в електролизера е необходима за поддържане на нормалния температурен режим и изравняване концентрацията на основата в отделните участъци на електролизера. Циркулацията на електролита се поражда от относителните тегла на газонапълнения електролит в клетките и газоотводните тръби и свободния от газове включвания електролит в разделителните колонки. От

разделителните колонки газовете постъпват в регулатор-промиватели – РП.

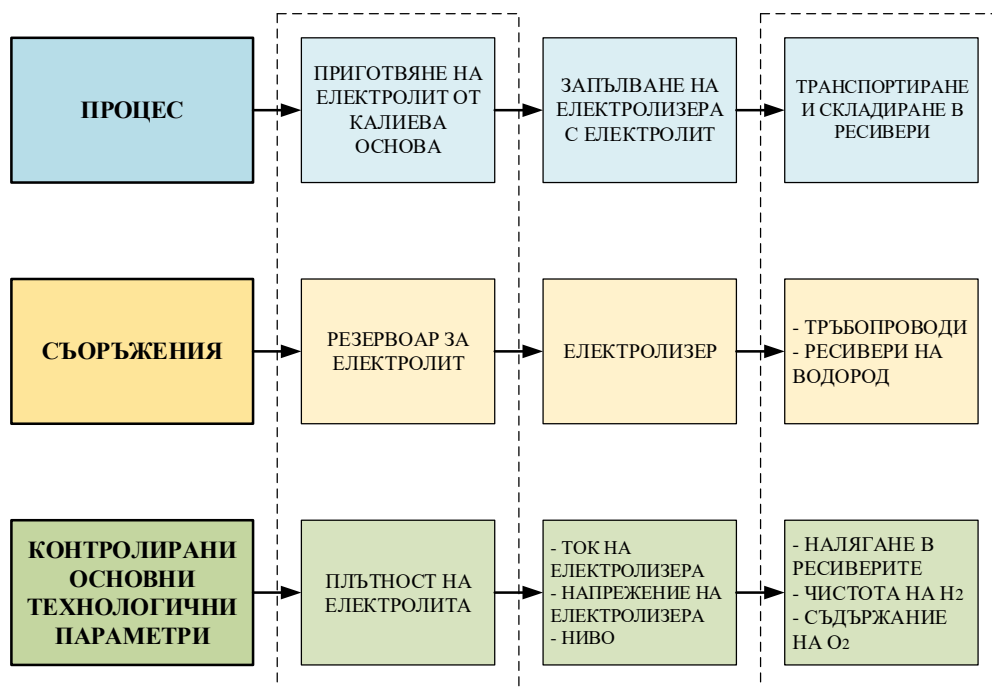
Регулатор-промивателите (РП) са предназначени да измиват газовете от електролитната мъгла и да поддържат равенство в налягането на водорода и кислорода, независимо от разликата в налягането им на изхода на установката. РП са свързани по течност и разделени по газ. Течностната им система по време на работа е свързана с течностната система на електролизера, за попълване на изразходваната в процеса на електролиза вода. Запълването на РП с вода се осъществява автоматически от изравнителните баки. При падане нивото на водата на РП за водород, под хранящия щуцер, водородът преминава в изравнителния бак, откъдето изтласква еквивалентно количество вода в същия РП. Поддържането на равенството на налягането на двата газа се осъществява по следния начин: при повишаване налягането на единия от газовете, нивото на водата в РП на този газ се понижава, а нивото в РП на другия газ се повишава; в резултат на това се вдига поплавъкът му и се затваря клапанът за изход на газа, вследствие на което започва повишаване на налягането на съответния газ.

След РП газовете се отправят към газовия пост. Газовият пост, чрез набор от вентили, е предназначен да управлява подаването на газовете. От газовия пост водородът се отправя към възел за изсушаване и през обратен клапан към ресиверите, а кислородът през обратен клапан се изхвърля в атмосферата.

Хидрозатвори – използват се при пуск на електролизерите, да се изхвърлят през тях водородът и кислородът в атмосферата, до достигане на необходимите параметри за подаване към ресиверите. Те представляват вертикални апарати, на които са монтирани нивомерни стъкла за визуално наблюдение на нивото на водата.

Изсушители – за изсушаване на водорода се използват два изсушителя, които са запълнени със силикагел и последователно се включват на регенерация и изсушаване на силикагела.

Изравнителни баки – автоматичното хранване на установката с кондензат се осъществява чрез изравнителните баки. По течност изравнителните баки са съединени с РП за водород и кислород, а по газ с РП за водород посредством вентил и щуцер, монтиран на височина, съответстваща на необходимото положение на нивото в РП.



Фиг. 15.6. Блокова схема на технологичен процес при работа на електролизер за производство на водород

Технически данни на подобен електролизер:

1. Вместимост – $0,69 \text{ m}^3$
2. Брой на клетките – 50
3. Големина на тока – 1000 A
4. Напрежение на електролизера – 110 V
5. Производителност: по водород – $20 \text{ m}^3/\text{h}$; по кислород – $10 \text{ m}^3/\text{h}$
6. Работна среда – електролит, водород, кислород
7. Работно налягане – $0 \div 10 \text{ Nm/cm}^2$ ($0 \div 1 \text{ MPa}$)
8. Работна температура – $85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
9. Чистота на газа: водород – $99,7\%$; кислород – $99,5\%$

Експлоатацията и натоварването на електролизера става плавно, като на всеки 5 минути се увеличава натоварването от 100 A и напрежение не повече от $110 \div 115 \text{ V}$. Товарът на електролизера се повишава в зависимост от нивата на разделителните колонки. Започналото продухване на газовата смес през хидрозатворите с работните газове (водород и кислород) продължава дотогава, докато при анализ не се установи чистота най-малко $99,5\%$ на водорода и $98,5\%$ на кислорода. Следва подаване на водород към ресиверите. Регулирането на количествата газ се извършва чрез ротаметри към датчици. Процесът на сушене на водорода се извършва в следната последователност. Излизайки от газовия пост, водородът преминава през възстановителя и се нагрява до $180^\circ \div 200^\circ\text{C}$, а кислородът се изхвърля в атмосферата. След това водородът се охлажда бързо във воден охладител, преминава през сепаратор-влагоотделител, където кондензът се отделя, събира се и се дренира чрез вентил. Следва отново подгриване на водорода до 200°C в пароподгревател и вече подгрят преминава през единия

изсушител. Изсушаването на водорода се извършва от два изсушителя, които работят последователно в режим на сушене и регенерация. Движението на водорода в регенериращия се изсушител е отгоре-надолу. За ускоряване на подгряването към силикагела се подава пара. Минавайки през силикагела отгоре-надолу, водородът го загрява, абсорбира и изпарява влагата, след което постъпва във воден охладител, където влагата кондензира и се събира (дренирането на събраната влага става във всяка смяна). След водните охладители, водородът, който вече се е охладил до температура $20^{\circ}\div 40^{\circ}\text{C}$, постъпва отдолу-нагоре в работещия изсушител, където окончателно се изсушава и се подава към ресиверите. Този цикъл на сушене и регенерация продължава около 48 часа, т.е. превключването им се извършва през 24 часа. В случай, че е необходимо, вторият електролизер може да се включи в паралелна работа с първия. При стриктно изпълнена процедура по включване е необходимо изравняване на наляганията, което се следи през диференциален манометър. По технологични изисквания концентрацията на основата в електролита трябва да бъде в границите $300\text{--}400\text{ g/l}$. Надхвърлянето на пределните стойности засилва корозионния процес, въздейства разрушаващо върху азбестовото диафрагмено платно и може да предизвика прекъсване в циркулацията на електролита. Пределното съдържание на нежелани примеси в електролита трябва да бъде: за карбонати – 5000 mg/l ; за желязо – 3 mg/l ; за Cl-йон – 50 g/l ; за сулфати – 80 mg/l . Концентрацията на електролита и съдържанието на примеси се контролират 1 път на месец. Температурата на електролита в електролизера се контролира в границите $85^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, изхождайки от условията за разхода на електроенергия и отчитайки корозионните процеси, нарастващи при увеличаване на температурата. Налягането на газовете, в зависимост от потребността, може да варира в границите на атмосферното до 10 at .

Работата на електролизерните уредби е високо енергийно интензивна и свързана с постоянно балансиране на физико-химични показатели. Специфичната електрическа енергия е в границите $5\div 5,40\text{ kWh/m}^3$. Самите установки са технологично обвързани и не може един компонент да бъде заменен с друг, без това да се отрази изцяло на работата на електролизерите и технологичните параметри на процеса, които се следят много строго. Следователно, евентуално намаляване на енергийната интензивност на електролизния процес се свежда до намаляване разходите и енергията при процесите на пускане и спиране. За тяхната оценка е важно да се знаят: денонощният разход на водород, колко енергия се изразходва за преминаване на един генератор от водород на въздух и обратно, дали процесите са еднотипни, какво количество могат да складират буферните ресивери. Целта е да правилно да се оценят разходите по пускане и спиране на ресиверите.

Максималният капацитет на един електролизер за производство на водород е $20\text{ m}^3/\text{h}$, а на кислород – $10\text{ m}^3/\text{h}$. Стандартно капацитетът за производство на водород за 12 часа е $120\text{ m}^3/\text{h}$, респективно за 24 часа – 240

m^3/h , при ток 500 A DC и напрежение 94 V DC, температура на водорода – 74°C. Процесът на преминаване от водород на въздух при един високоволтов генератор зависи от моментното производство. При процеси на пускане или спиране се почиства системата чрез продухване с азот. Азотът е тежък газ и чрез него се постига почистване на всички кухини и повърхности. Процесът трае 20 минути. Разходът на водород зависи от I_{DC} , който се увеличава плавно през 5 минути по 100 A, докато се постигне чистота на водорода 99,5%. След това линията се включва към ресиверното стопанство и се пълнят всички ресивери с общ обем $180 m^3$. Целият процес трае 45÷60 минути.

Параметрите, които определят възможността за интензификация на електролизата, се определят от израза:

$$\Pi = \alpha \cdot I \cdot \eta_T \cdot n \cdot 10^{-3} = \alpha \cdot \eta_T \cdot \frac{P}{U_B} \cdot 10^{-3}$$

където: Π – часова производителност, m^3/h ;

α – електрохимичен еквивалент, g/Ah ;

I – ток, kA ;

η_T – изход по ток в части от единицата;

n – брой вани/клетки в серия: $n = U/U_B$;

U – напрежение на серия вани/клетки, V ;

U_B – средно напрежение на една вана/клетка, V ;

P – консумирана мощност от серия вани/клетки, kW .

Следователно, производителността зависи от следните фактори: големината (плътността) на тока, изхода по ток, напрежението на ваната, консумираната мощност, броя на ваните. Всички фактори са свързани помежду си. Основен път за интензификация е повишаването на работната плътност до оптималната ѝ стойност.

Като цяло интензификацията на процеса електролиза се развива в две направления: технологично и електроенергийно. Електроенергийното направление се състои главно в изменение на електрическите режими на хранване, но това не е възможно да става, без да се имат предвид технологичните особености на процеса.

Плътността на тока може да се увеличи при следните електроенергийни постановки:

- Поддържане на дадени електрически параметри;
- Реверсиране на постоянния ток;
- Използване на прекъснат ток, периодичен ток, токов удар или други методи.

Необходимостта от регулиране на електрическите параметри се налага от изменението на електрическото съпротивление на ваните поради нагряването на електролита, изменения в химичния му състав, нарушения в нормалния режим на експлоатация и др. За да се осигури зададената производителност се регулира напрежението, мощността или големината на тока. Поддържането на постоянно напрежение е ефективно само при

спокойни процеси, без резки колебания и изменение на товара – какъвто е случая с електролиза на водни разтвори. Поддържането на постоянна големина на тока може да се отнася за текущата му или средна стойност. В първия случай обикновено се приема, че колебанията на тока не трябва да превишават $1 \div 3$ % от установената стойност. От енергийна гледна точка това регулиране има съществени недостатъци: понижава се коефициентът на мощността, трябва да има осигурен резерв по напрежение и компенсиращи устройства, скъпи съоръжения за стабилизиране на тока, големи загуби на енергия и др. Това регулиране е оправдано, ако големината на тока в процеса се колебае до $20 \div 30\%$, което се отразява на топлинния режим на ваните и отлагането на продукти по катода. При постоянна средна стойност на тока преминава едно и също количество електричество през ваните. Регулирането става без използване на тежки и скъпи устройства за плавно регулиране на големината на тока. Повишаване на налягането на електролита с цел повишаване на електропроводимостта се счита за слабо влияещ фактор върху интензификацията на процеса на добив на водород, изключение правят електролизерите с налягане на електролита над 100 at . Увеличаване на производителността на електролизера за сметка на нарастване на количество произведен водород, получен от единица повърхност на електрода, обема на електролизера и площта, заемана от електролизера, може да се достигне чрез повишаване плътността на тока и увеличаване площта на електродите. Тези начини за интензификация са възможни само при електролизери, чиято конструкция позволява ефективно масопренасяне, постигнато чрез принудителна циркулация, което позволява и поддържане на оптимален топлинен режим. Както беше отбелязано, производителността на електролизера лесно може да се регулира чрез изменение на големината, респективно плътността на тока, но трябва да се отчита фактът, че при повишаване на производителността се увеличава специфичният разход на енергия за $1 \text{ m}^3 \text{ H}_2$. При височина на анода 100 cm , анодната плътност не бива да превишава $0,5 \div 0,6 \text{ A/cm}^2$, при което очакваният специфичен разход на енергия ще бъде $12 \div 14 \text{ kWh/m}^3$ при изход по ток 90% .

Към технологичните режимни параметри, влияещи на процеса, могат да се отнесат: подавано напрежение, междуелектродно разстояние, температура и разход на електролит, количество ампер-часове, отделени за обработване на 1 m^3 вода. Технологично допустимото междуелектродно разстояние е $4 \div 5 \text{ cm}$, при това без да се допуска прегряване на електролита може да се регулира големината, респективно плътността на тока. Оптималните технологични и режимни параметри следва да се избират за всеки конкретен случай при отчитане на местните фактори (точно приложение, цена на енергия, локална енергийна инфраструктура, цехови разходи, себестойност на единица произведен водород и др.), но задачата за намаляване на енергийната интензивност на тези енергоемки съоръжения е винаги актуална.

IV. Електролизен процес за добиване на мед

Изходен продукт за получаване на чиста мед чрез електролиза е т.нар. *черна мед*, която се получава в електродъгови пещи. Черната мед съдържа много примеси, влошаващи качествата на медта (напр., електропроводност, механична издръжливост, ковкост и др.). В черната мед има и благородни метали, които не влошават качествата ѝ, но като ценни продукти също трябва да се отделят. Очистването на черната мед и извличането на благородните метали става чрез т.нар. *електрическо рафиниране* посредством електролиза на воден разтвор на меден сулфат.

Медта се рафинира в специални вани, отлети от бетон и облицовани отвътре с винилпласт. В миналото ваните са се правили от дървен материал. Ваните се монтират над пода на изолатори. Приблизителните им размери са: дължина около 4 m, широчина – $1,15 \div 1,20$ m и височина – $1,15 \div 1,20$ m. Разполагат се долепени с дългата си страна в блок една до друга от 5 до 12 броя.

Анодите са отлети от черна мед със специална форма. В горния си край имат уши за закрепване към ваните и са по-дебели, защото по-бързо се износват. Анодите се разтварят и престояват във ваните нормално около 20 дни. Обикновено в една вана има 20 до 40 анода.

Катодите във всяка вана са с един повече от анодите. Катодът представлява тънък меден лист ($0,5 \div 0,7$ mm). В горния край на листа има уши, в които се вкарва специален прът за закрепване. Катодите престояват във ваните нормално $10 \div 12$ дни. Вследствие на отделената върху тях мед стават дебели около 10 mm и имат маса $60 \div 90$ kg.

Електродите във ваните се съединяват паралелно – всички аноди към положителния полюс, всички катоди към отрицателния, съответно. Напрежението на една вана е в граници $0,25 \div 0,40$ V при плътност на тока на анода $150 \div 200$ A/m². Ваните в два блока се свързват последователно, образувайки серия.

Блоковете също се свързват последователно, като захранващото общо напрежение е 120 или 220 V. Свързването им става с разединители. Разединителят представлява плоска шина със същото сечени както захранващите шини, която се свързва с болтове. Изключването на разединител под товар може да доведе до голяма повреда, понеже се разкъсва верига, през която протича ток до 10 и повече kA.

Електролитът във ваните представлява разтвор на меден сулфат (CuSO₄) и сярна киселина (H₂SO₄). По време на електролизата съставът на електролита непрекъснато се изменя. Анодът се разтваря и около него концентрацията на медни йони се увеличава, а при катода намалява. Електролитът непрекъснато се размесва чрез циркулация, като се подгръва и поддържа нагрят около 55°C. При по-ниска температура се увеличава съпротивлението му, а с това и падът на напрежение във ваната, с което намалява изходът по енергия. При по-висока температура разтворът се изпарява и се създават неблагоприятни условия за работа.

На дъното на ваните се отлагат утайки, които през специални отвори периодически се изтеглят. Тези утайки са изходен продукт за получаване на злато, сребро, селен, телур, паладий и др.

Основна електрическа причина за намаляване на изхода по ток при електролизата на мед са късите съединения, които възникват във ваните поради неправилно окачване на електродите, неравномерно отлагане на метал по катода или деформация на електродите.

Основни електрически причини за намаляване на изхода по енергия (следователно и на изхода на метал) са:

- утечки на тока по изолаторите под ваните;
- увеличена киселинност на електролита и по-висока температура, което води до разтваряне на отделена вече мед на катода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crowder R., Electric Drives and Electromechanical Systems, Elsevier, First edition 2006.
2. Hughes A., Electric Motors and Drives (Fundamentals, Types and Applications), Elsevier, Third edition 2006.
3. Krause P.C., O. Wasynczuk, Sc. D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, John Wiley & Sons, New York, 2002.
4. McPherson G., R. D. Laramore, Electrical Machines and Transformers, John Wiley & Sons, New York, 1990.
5. Merz H., Electric Machines and Drives, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2002.
6. Владимиров П., Св. Рачев, Ръководство за лабораторни упражнения по електрообзавеждане, Университетско издателство „Васил Априлов”, Габрово, 2006.
7. Владимиров П., С. Рачев, Ръководство за проектиране на електрообзавеждане, УИ „Васил Априлов”, Габрово, 2008.
8. Господинов В., Б. Бойчев, Електрообзавеждане на производствени процеси, АБС Техника, София, 2009.
9. Еленкова С., П. Тодоров, Н. Чавушян, Асансьори, ч. 1 Устройство и управление на асансьора, Техника, София, 1996.
10. Йорданов С., И. Костов, Защита в електрозадвижванията, ТУ–София, София, 1997.
11. Маринов М. Й., П. Д. Петков, Т. Бъчваров, Електрообзавеждане на производствени агрегати, ВМЕИ–Варна, 1987.
12. Михов М., Управление на електромеханични системи, ТУ–София, София, 1999.
13. Палов И. Й., Електрообзавеждане на промишлените предприятия, ВТУ–Русе, 1992.
14. Петков П., Електрообзавеждане на металообработващото производство, ТУ–Варна, 1994.
15. Рачев С., Л. Димитров, Електрозадвижване и електрообзавеждане, Университетско издателство „Васил Априлов”, ТУ-Габрово, Габрово, 2011.
16. Рашков А., И. Златенов, Проектиране на електрически уредби и електрообзавеждане на производствени механизми, Техника, София, 1992.
17. Рашков А., И. Златенов, Проектиране на електрически уредби и електрообзавеждане на производствени механизми, Матком, София, 1999.
18. Сандлер А.С., Електрообзавеждане на металорежещи машини, Техника, София, 1962.
19. Станчев А., Е. Стойнов, Асансьори, ч. 2 Монтаж, експлоатация и ремонт на асансьора, Техника, София, 1996.

20. Стоянов, И., Н. Михайлов, Б. Борисов, Н. Евстатиева, М. Александров. Ръководство за лабораторни упражнения по електроенергетика. Русе, Примакс ООД, 2011, стр. 135, ISBN 9789548467094.
21. Стоянов С., Ц. Цанев, В. Господинов, Ръководство за лабораторни упражнения по електрообзавеждане на производствените агрегати, Техника, София, 1987.
22. Стоянов С., Ц. Цанев, Сборник от схеми по електрообзавеждане на производствени агрегати, Техника, София, 1985.
23. Стоянов С., Ц. Цанев, Електрообзавеждане на производствени агрегати, Техника, София, 1990.
24. Стоянов С., Ц. Цанев, Ръководство по електрообзавеждане на промишлени предприятия - II част, ТУ-София, 1993.
25. Стоянов С., В. Господинов, Електрообзавеждане на хидравлични машини и елементи, София, 1991.
26. Стоянов П., Управление и защита на асинхронни двигатели, Schneider Electric, 2006.
27. Хубанов А., П. Панайотов, П. Пенчев, Асансьори, Техника, София, 1977.
28. <https://elevatorworld.com>
29. <http://www.tllmedia.bg>

СЪДЪРЖАНИЕ

Модул I. Електрообзавеждане

Тема 1. Избиране на електрически двигатели по номинални данни и тип.....	5
Тема 2. Загриване и охлаждане. Режими на работа на електрическите двигатели.....	8
Тема 3. Избиране на мощността на електрическите двигатели при непрекъснат режим на работа с постоянно и променливо натоварване	19
Тема 4. Избиране на мощността на електрическите двигатели при кратковременен и периодичен режим на работа. Определяне на допустимия брой включвания за час.....	24
Тема 5. Избиране на електрически двигатели по конструктивно изпълнение и според начина на охлаждането им.....	30
Тема 6. Избиране на апарати за защита и управление на електрообзавеждането	32
Тема 7. Видове кранове. Механообзавеждане на крановете.....	36
Тема 8. Основни параметри и режимы на работа на крановете. Технологични изисквания към крановото електрообзавеждане	41
Тема 9. Елементи на електрообзавеждането на крановете.....	45
Тема 10. Статични натоварвания при крановите механизми	48
Тема 11. Динамични натоварвания при крановите механизми. Привеждане на (инерционните) маховите моменти към вала на електрическия двигател. Определяне на времената за пускане и спиране на механизмите.....	53
Тема 12. Изчисляване на мощността и избор на електрически двигатели за подемен механизъм и количка	58
Тема 13. Електрообзавеждане на електротелфери.....	61
Тема 14. Общи сведения, класификация, показатели и конструктивни особености на асансьорите	67
Тема 15. Елементи на електрообзавеждането на асансьорите. Статични и динамични натоварвания при асансьорите	89
Тема 16. Изчисляване на мощността и избиране на електрически двигатели при електрическите асансьори	97
Тема 17. Точно спиране на кабината на асансьорите	99
Тема 18. Електрообзавеждане на електрокари	103
Тема 19. Общи сведения, изчисляване на мощността и избор на електрически двигатели за центробежни вентилатори.....	105
Тема 20. Изчисляване на мощността и избор на електрически двигатели за компресори.....	109
Тема 21. Общи сведения, изчисляване на мощността и избор на електрически двигатели за помпи.....	114
Тема 22. Регулиране на производителността на помпените агрегати	120
Тема 23. Избор на елементите за електрическите схеми	123

Модул II. Електрообзавеждане на производствени машини и процеси

Тема 1. Общи сведения и изисквания към електрообзавеждането на металоорежещи машини	127
Тема 2. Загуби в металоорежещите машини и определяне на к.п.д. Статични натоварвания на механизмите на главното движение на металоорежещите машини	132

Тема 3. Статични натоварвания на подавателните и спомагателните механизми	141
Тема 4. Динамични натоварвания на електрозадвижванията на металорежещи машини.....	144
Тема 5. Регулиране на скоростта на задвижванията на металорежещи машини. Видове електрически двигатели, прилагани за електрозадвижване в металорежещите машини.....	147
Тема 6. Електрозадвижвания и програмно управление на металорежещи машини.....	153
Тема 7. Електрообзавеждане и схеми за управление на металорежещи машини с програмно управление.....	158
Тема 8. Общи сведения, кинематика и динамика на електрозадвижването на ковашко-пресови машини.....	162
Тема 9. Електрозадвижване с маховик. Особенности при определяне на мощността и ориентировъчен избор на параметрите на електрозадвижването на ковашко-пресови машини. Изисквания към електрообзавеждането на ковашко-пресови машини.....	167
Тема 10. Общи сведения, видове транспортъори, изисквания към електрообзавеждането и изчисляване на мощността на електрическите двигатели за механизмите за непрекъснат транспорт.....	175
Тема 11. Схеми за управление, блокировки и сигнализация на механизмите за непрекъснат транспорт.....	181
Тема 12. Електрообзавеждане на пеци	190
Тема 13. Електрообзавеждане на електродъгови пеци.....	193
Тема 14. Електрообзавеждане на индукционни пеци.....	202
Тема 15. Електролизни уредби с индустриално приложение.....	205
Литература.....	229

доц. д-р инж. Свилен Рачев – автор 2022
гл. ас. д-р инж. Димитрина Коева – автор 2022
гл. ас. д-р инж. Любомир Димитров – автор 2022

Рецензент: проф. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов

ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ

Българска
Първо издание

Формат: 60/84/16
Печатни коли:

Печат: Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово

ISBN