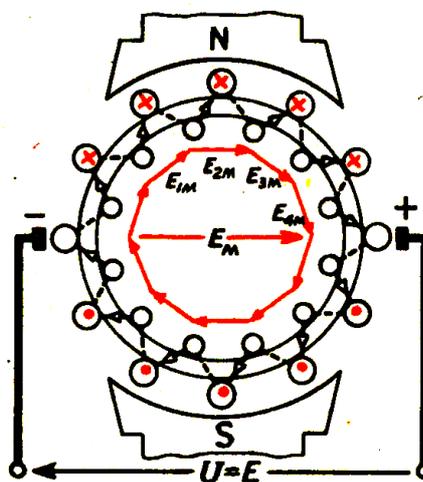
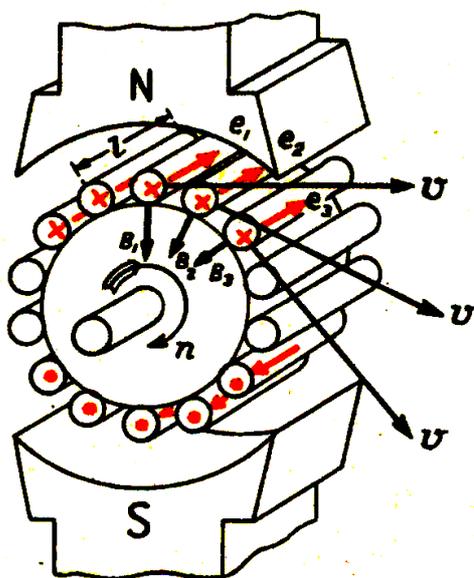


КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу

«ВСТУП ДО ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ»

(для студентів 1-го курсу всіх форм навчання напряму підготовки
6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт»
та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»
і слухачів другої вищої освіти)



$$E = \frac{N}{2a} \cdot E_{cp} = \frac{pn}{60a} N\Phi$$

Нем В. К. Конспект лекцій з курсу «Вступ до електромеханіки» (для студентів 1-го курсу всіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» і слухачів другої вищої освіти) / В. К. Нем; В. М. Гаряжа; О. В. Донець; В. Ф. Сидоренко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 105 с.

Автори: В. К. Нем,
В. М. Гаряжа,
О. В. Донець,
В. Ф. Сидоренко

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол засідання № 8 від 22.12.2009 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Розділ 1. Енергетика – економіка – екологія.....	7
1.1. Енергетичні ресурси.....	7
1.2. Виробництво електричної енергії.....	10
1.3. Економія енергетичних ресурсів.....	17
Розділ 2. Електротехнічні матеріали.....	20
2.1. Провідники.....	20
2.2. Електричні апарати.....	23
2.2.1. Високовольтні апарати.....	23
2.2.2. Апарати низької напруги.....	25
Розділ 3. Тяговий електропривод.....	33
3.1. Принцип дії двигуна постійного струму.....	34
3.2. Принцип дії асинхронного двигуна.....	38
3.3. Принцип дії синхронної машини.....	41
3.4. Механічна характеристика двигунів.....	44
Розділ 4. Порівняльна характеристика різних видів транспорту.....	52
4.1. Персональний транспорт.....	52
4.1.1. Автомобіль.....	52
4.1.2. Мототранспорт.....	56
4.1.3. Персональний авіатранспорт.....	57
4.1.4. Вертольоти.....	58
4.2. Інший транспорт.....	59
4.2.1. Велосипед.....	59
4.2.2. Кінний транспорт.....	61
4.2.3. Піша ходьба.....	62
4.3. Громадський транспорт.....	63
4.3.1. Автобус.....	64
4.3.2. Залізничний транспорт.....	65
4.3.3. Тролейбус.....	66
4.3.4. Трамвай.....	68
4.3.5. Метрополітен.....	70
4.3.6. Авіація.....	72
4.3.7. Потяги на магнітній подушці, монорельсова дорога.....	74
4.3.8. Конвеєрний транспорт.....	76
4.3.9. Водний транспорт.....	76
4.4. Особливості міського електричного транспорту.....	77
4.4.1. Коротка характеристика міського електричного транспорту... ..	81
Розділ 5. Система електропостачання та тягові підстанції ЕТ.....	84
Розділ 6. Перетворювальна, обчислювальна та мікропроцесорна техніка на електричному транспорті та автоматизація тягових пристроїв.....	94
Список літератури.....	105

ВСТУП

Рівень розвитку матеріальної культури людського суспільства в першу чергу визначається створенням і використанням джерел енергії. В даний час в найрозвиненіших країнах на одну людину припадає до 10кВт усіх видів енергії. Це приблизно в 100 разів більше, ніж мускульна потужність людини, яка ще понад 200 років тому була основною в промисловості і сільському господарстві [1,2].

Особливо ефективно вживання електричної енергії, виробництво якої в багатьох країнах постійно збільшується. Майже всю електричну енергію виробляють електричні машини. Але останні можуть працювати не тільки в генераторному режимі, але і в руховому, перетворюючи електричну енергію в механічну. Володіючи високими енергетичними показниками і меншими в порівнянні з іншими перетворювачами енергії витратами матеріалів на одиницю потужності, екологічно чисті електромеханічні перетворювачі мають в житті людського суспільства величезне значення.

Перші міські електростанції з'явилися в самому кінці минулого століття. На сьогодні встановлена потужність електростанцій на Землі дорівнює приблизно 4000 млн. кВт. Вироблення електроенергії досягло приблизно 12000 млрд. кВт·год. на рік.

Нині час виробництво електроенергії досягає майже 0,1 % всієї енергії, яку одержує Земля від Сонця. Виробництво електроенергії стає глобальним і значно впливає на стан навколишнього середовища. На рис. 1.1 зображене зростання вироблення електроенергії, звідки видно, що особливо швидко вироблення електроенергії почалося з 70-х років минулого століття [1].

Електротехнічна промисловість повинна забезпечити виготовлення електричних машин і іншого устаткування для енергетики і інших галузей народного господарства.

Для передачі, розподілу і використання електричної енергії вимагається на кожну одиницю встановленої потужності на електростанціях виготовити п'ять-шість одиниць потужності трансформаторів і електричних двигунів.

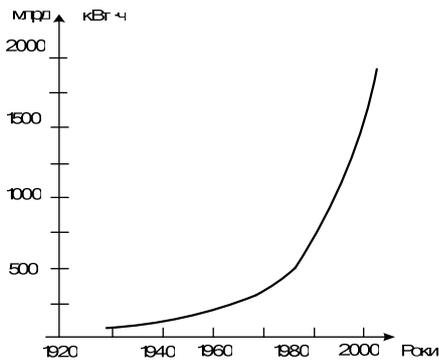


Рис.1.1 - Зростання вироблення електроенергії

В наш час в електромашинобудувальній галузі України налічується більше 50 великих заводів і науково-виробничих об'єднань. Найбільшими науково-виробничими об'єднаннями, що мають міжнародне визначення, є «Запоріжтрансформатор» (м.Запоріжжя), «Електротяжмаш» (м.Харків) та багато інших.

Електротехнічна промисловість України випускає за рік мільйони електричних машин для всіх галузей народного господарства. Без електричних машин не може розвиватися жодна комплексна наукова програма. Електричні машини працюють в космосі і глибоко під землею, в океані і активній зоні атомних реакторів, в тваринницьких приміщеннях і медичних кабінетах. Без перебільшення можна сказати, що електромеханіка визначає технічний прогрес в більшості основних галузей промисловості.

Колосальне зростання вироблення електроенергії може бути забезпечене тільки при зростанні потужності турбо- і гідрогенераторів, що встановлені на теплових і гідравлічних станціях.

Одним з енергоємних споживачів є – електричний транспорт. В Україні у ряді вузів готують фахівців для системи електричного транспорту напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів».

Конспект лекцій складений відповідно до навчального плану і програми з курсу «Введення в електромеханіку», які передбачають підготовку студентів першого курсу до вивчення спеціальних дисциплін: електричні машини, електропостачання електричного транспорту, електричне і механічне устаткування рухомого складу і інших.

Цей курс у загальному вигляді об'єднує такі курси, як «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні матеріали», «Електричні машини», «Електричні апарати», «Електропривод» та ряд інших. Він покликаний допомогти студентам першого курсу в доступній формі ознайомитися з майбутньою

спеціальністю, придбати знання із загальної електротехніки, вміння аналізувати системи виробництва, розподілу та споживання електроенергії, взаємодію всіх елементів системи електропостачання, вплив елементів на енергозбереження.

Даний навчальний посібник створено на основі досвіду викладання дисципліни «Вступ до електромеханіки» на кафедрі «Електричний транспорт» Харківської національної академії міського господарства.

ПОЗНАЧЕННЯ І СКОРОЧЕННЯ

СІРРП – система інтервального регулювання руху потягів;

ПВЕ – правила влаштування електроустановок;

СЦБ – система сигналізації, централізації і блокування;

АВР – автоматичне вмикання резервного вводу;

АПВ – автоматичне повторне вмикання;

МЕТ - міський електричний транспорт;

ТО - технічне обслуговування;

ТМ - тягові мережі;

КМ - контактна мережа;

ЕТ - електричний транспорт;

СІ - секційний ізолятор;

СЕП – система електропостачання

ТП - тягові підстанції;

РС - рухомий склад.

РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИКА - ЕКОНОМІКА - ЕКОЛОГІЯ

1.1. Енергетичні ресурси

Умови життя зараз багато в чому визначаються трьома «Е»: енергетика — економіка — екологія. Енергетика є основою техніко-економічного прогресу в усіх галузях народного господарства.

Вагому складову частину енергетики представляє електроенергетика.

Електроенергетика в широкому розумінні слова містить у собі виробництво, передачу, перетворення і використання електроенергії і підрозділяється на такі сфери:

1. Паливо, його видобуток, переробка і транспорт.
2. Гідробудівництво.
3. Електростанції (теплові — ТЕС, атомні — АЕС, гідравлічні — ГЕС), теплосилове, гідротехнічне й електротехнічне устаткування.
4. Енергетичне машинобудування (парові, газові й гідравлічні турбіни, турбо- і гідрогенератори).
5. Лінії електропередачі, трансформатори, електрична мережа й електричні системи, електричні апарати високої напруги.
6. Споживачі електроенергії (транспорт, промисловість та інші.).

Велике зростання виробництва і споживання енергії примушує оцінювати об'єми енергоресурсів і задуматися щодо перспективи їх використання.

До основних енергоресурсів відносять: енергію річок, водопадів, різні органічні палива, такі, як вугілля, нафта, газ; ядерне паливо - важкі елементи урану і торія, а в перспективі – легкі елементи.

Енергоресурси поділяють на відновлювані і невідновлювані. До перших відносять ті, які природа безперервно відновлює (вода, вітер і т.д., а до других – раніше накопичені в природі, але в нових геологічних умовах що практично не утворюються (кам'яне вугілля, нафта і т.п.).

Енергія безпосередньо природна (енергія палива, води, вітру, тепло землі,

ядерна) називається первинною. Енергія, одержувана людиною після перетворення первинної енергії на спеціальних установках - станціях, - вторинної (електроенергія, енергія гарячої води і пари і т.д.). Для вироблення електроенергії (окрім основних ресурсів) використовують енергію вітру, енергію приливів і відливів, теплову енергію земних недр (геотермальна енергія), променисту енергію сонця.

Електроенергетика є базою електрифікації, тобто широкого впровадження в народне господарство електричної енергії, яка вироблена централізовано на електростанціях, об'єднаних лініями електропередачі в енергосистеми. Електрифікація дозволяє правильно використовувати природні енергетичні ресурси, більш ефективно розміщати продуктивні сили, механізувати та автоматизувати виробництво, підвищити продуктивність праці.

Енергетична програма передбачає збільшення вироблення електроенергії на АЕС у (5—7) разів.

Складною проблемою є транспортування енергетичних ресурсів. Проблему можна розв'язувати трьома шляхами: залізничними перевезеннями, трубопроводом (нафта, газ) і лініями електропередач (ЛЕП) напругою 500, 750 і 1150 кВ змінного струму і 1500 кВ постійного струму. ЛЕП створюють Єдину енергетичну систему, суть якої полягає в тому, що всі електричні генератори працюють на загальну електричну мережу, вирівнюючи пікові навантаження по годинних поясах..

Енергетика — одне з джерел негативної дії на навколишнє середовище. Саме тому планування і прогнозування енергетики повинні здійснюватися з урахуванням трьох «Е».

Дія енергетики на навколишнє середовище надзвичайно різноманітна і визначається в основному типом енергоустановки (рис. 1.2). Окрім різного виду забруднення навколишнього середовища, у тому числі і теплового, зовнішня дія енергетики виявляється ще і в тому, що з використання вилучаються великі площі земель, особливо при спорудженні гідроелектростанцій.

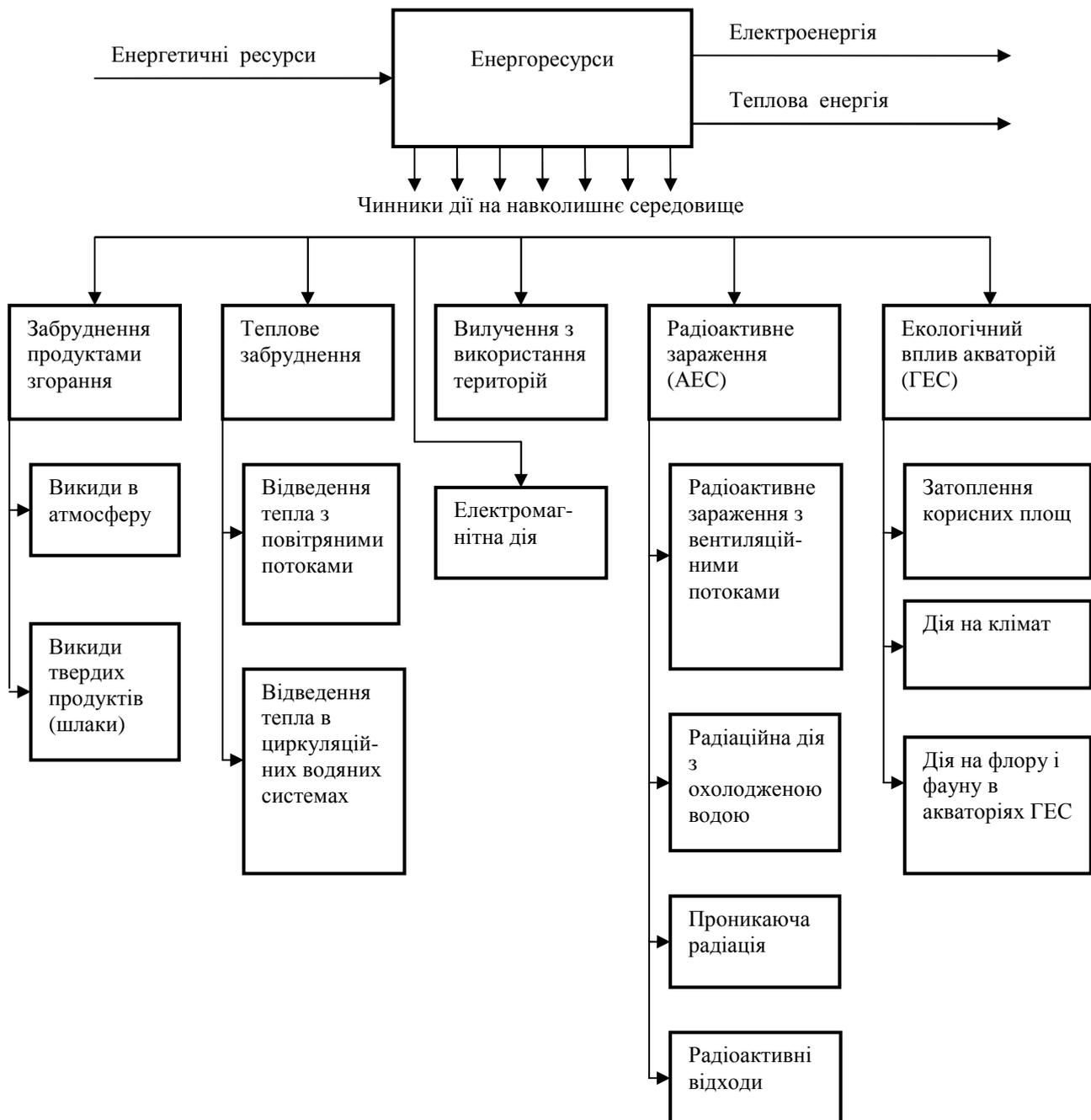


Рис. 1.2 - Чинники дії електроенергетики на оточуюче середовище

Для того, щоб планомірно здійснювати зниження негативних дій енергоустановок на оточуюче середовище, необхідно чітко визначити канали цих дій, фізичні основи протікаючих при цьому процесів. Тільки в цьому випадку вирішення питань охорони навколишнього середовища буде ефективним.

Сьогодні ТЕС виробляють (80—82)% всієї електроенергії країни. Тому стає ясно, що саме ТЕС повинні представляти основний об'єкт для уважного вивчення з метою виявлення і зниження негативної дії енергетики на екологію.

1.2. Виробництво електричної енергії

Електричну енергію одержують на електричних станціях шляхом перетворення з іншого виду енергії. Як енергетичні ресурси використовують переважно енергію води, що рухається, хімічну енергію палива (твердого, рідкого і газоподібного) і атомну енергію. Експлуатація таких традиційних джерел енергії породжує екологічні проблеми, при цьому варто пам'ятати, що запаси викопного палива обмежені.

Останнім часом підсилюється інтерес до так званих нетрадиційних джерел енергії: сонця, вітру, припливів і відпливів океанської води, геотермальних джерел, біомаси та ін. Як енергетичні ресурси вони давно відомі. Новою є технологія їхнього використання. Нетрадиційні джерела енергії практично невичерпні й екологічно чисті. Однак існують труднощі перетворення їхньої енергії в електричну. На сьогодні слід зазначити низький к.к.д. таких споруд для перетворення енергії і, як наслідок, дорожнечу одержуваної електроенергії. Тому частка нетрадиційних джерел електроенергії в загальному балансі світової електроенергії незначна.

Найбільш перспективним новим джерелом енергії вважають термоядерний синтез — використання теплової енергії, що виділяється при з'єднанні (синтезі) ядер деяких легких елементів. Як термоядерне паливо можна використовувати ізотопи водню: дейтерій і тритій, запаси яких на земній кулі практично невичерпні. На сучасному етапі головні труднощі в здійсненні термоядерного синтезу — це реалізація керованої термоядерної реакції. У цьому напрямку ведеться велика дослідницька робота. Незважаючи на великі труднощі, кінцеві результати обнадійливі: очікується, що перші термоядерні електростанції будуть створені на початку цього сторіччя.

Класичним є метод одержання електричної енергії на електростанціях за допомогою генератора з ротором, що крутиться, який приводиться в обертання від джерела механічної енергії. Використовують винятково трифазні синхронні електрогенератори, через переваги трифазного струму і можливості створювати такі генератори на великі потужності.

У залежності від виду використовуваних енергетичних ресурсів електростанції бувають: гідравлічні, теплові, атомні, сонячні, вітряні, приливні та ін.

Гідравлічні електричні станції (ГЕС). Для одержання електричної енергії використовують енергію води, що рухається. У залежності від джерела використовуваних вод розрізняють ГЕС на проточній воді і з греблями.

Особливим видом ГЕС є насосно-акумулюючі гідравлічні (гідроакумулюючі) електростанції (ГАЕС). Їх розташовують між нижньою і верхньою водоймами 1, 7 (рис. 1.3). При значному споживанні електроенергії в енергосистемі ГАЕС працюють у генераторному режимі: воду з верхньої водойми скидають до гідротурбін, що виробляють електроенергію, і надходить до нижньої водойми. Уночі (при мінімальному споживанні електроенергії) воду насосами (агрегати ГАЕС оборотні) перекачують з нижньої водойми до верхньої.

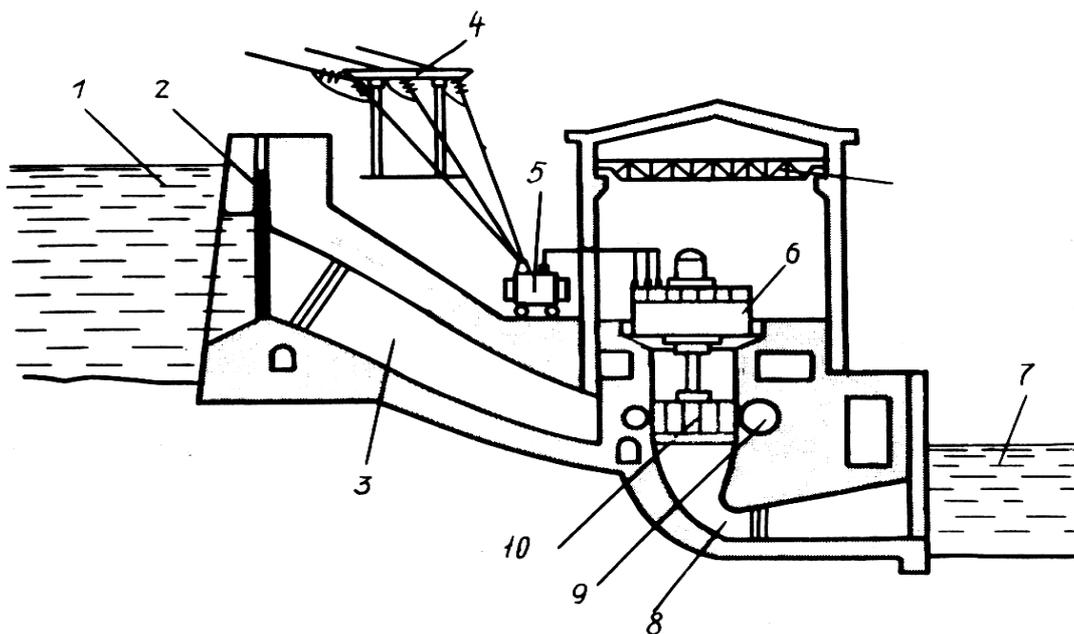


Рис. 1.3 - Будівля ГЕС:

1 – водойма; 2 – жалюзі греблі; 3 – напірний трубопровід; 4 – лінія електропередачі; 5 – підвищувальний трансформатор; 6 – електричний генератор; 7 – нижня водойма; 8 – нижній трубопровід; 9 – спіральна камера; 10 – гідравлічна турбіна

На рис. 1.3. наведений поперечний розріз ГЕС із греблею. При відкритому шибері 2 вода з водоймища 1 надходить напірним водоводом 3 до спіральної камери 9, її направляють до лопаток водяної (гідравлічної) турбіни 10. Турбіна приводить в обертання ротор генератора 6, що виробляє електричну енергію.

Після підвищення напруги трансформатором 5 за допомогою лінії передачі 4 електроенергія подається до споживачів.

Україна займає одне з провідних місць у світі щодо запасів гідравлічної енергії, потенційна енергія якої оцінюється в 100 млрд. кВт-год. на рік. ГЕС відносять до енергоустановок, які використовують відновлювані енерго-ресурси. Проте в порівнянні з іншими видами ресурсів перетворення гідроенергії в електрику приводить до значних дій на оточуюче середовище.

Первісток Радянської гідроенергетики — Волховська ГЕС, що побудована згідно з Державним планом електрифікації (ГОЕЛРО), а розроблена Державною комісією з електрифікації Росії на чолі з Г.М. Кржижановським.

У квітні 1932 р. введений в дію перший агрегат Дніпровської ГЕС. Потім були побудовані каскади Волжської, Дніпровської, Камської та ін. ГЕС і, нарешті, наймогутніший Ангаро-Енісейський каскад з найбільшими в світі ГЕС — Братської (41125 МВт), Красноярської (6000 МВт) та інші [2]

Теплові електричні станції (ТЕС). Хімічну енергію горіння палива перетворюють в електричну на ТЕС. Розрізняють конденсаційні (КЕС), що виробляють тільки електричну енергію, і теплофікаційні (теплоелектроцентралі) електростанції (ТЕЦ). На ТЕЦ виробляється електрична і теплова енергія.

На рис. 1.4 показана технологічна схема КЕС, що працює на твердому паливі. Вугілля по транспортеру 1 подають у бункер 2. Розмелене млином 3 до пилоподібного стану вугілля вентилятором 4 разом з необхідним для згоряння попередньо підігрітим у повітрянагрівачі 12 повітрям подається через пальники 5 у топкову камеру 6 парового котла 7. Теплота, що виділилася при згорянні суміші, йде на нагрівання води, і в паровому котлі 7, а також барабанах 8 і 9 одержують пару високої температури і тиску. Пара проходить через паропідігрівач 10 і надходить у парову турбіну 15, приводить її в обертання, після чого направляється в конденсатор 19, де конденсується у воду. Конденсат пари знову подається насосом 18 через пароводяний підігрівник 11 до парового котла.

Відпрацьовані гази вентилятором 13 після фільтрування викидають через трубу 14.

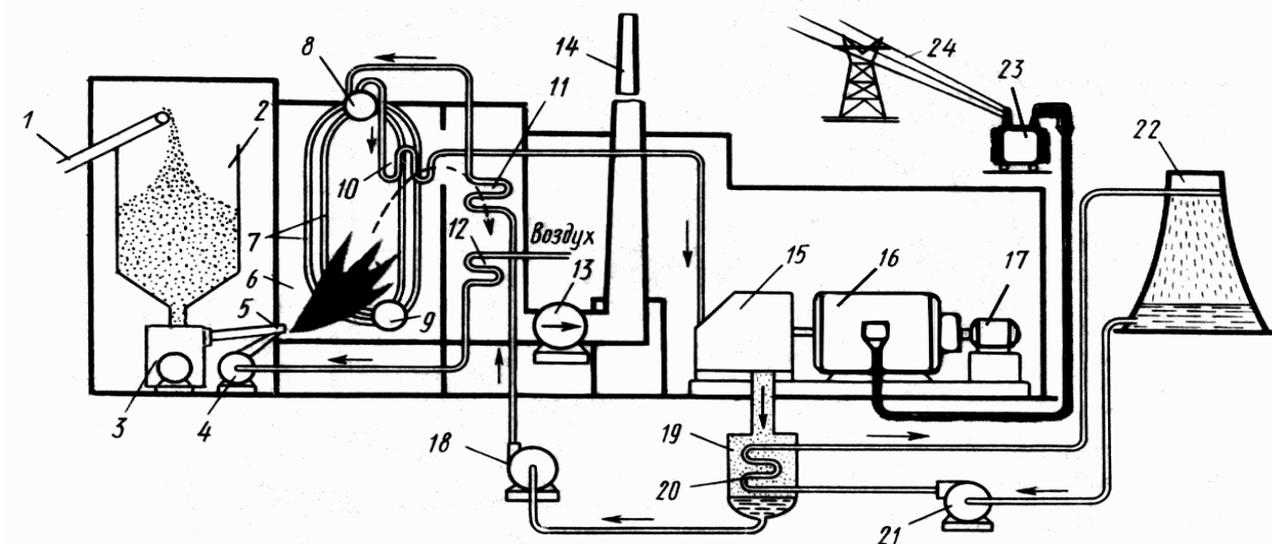


Рис. 1.4 - Спрощена технологічна схема КЕС:

1- транспортер вугілля; 2 - бункер вугілля; 3 - млин для розмелювання вугілля; 4 - вентилятор; 5 - пилувугільна горілка; 6 - топка; 7 - паровий котел; 8, 9 - барабани нижньої системи циркуляції води і пари; 10 - пароперегрівач; 11 - водонагрівач (економізатор) котла; 12 - повітрянагрівник; 13 - газовий вентилятор (димосос); 14 - димова труба; 15 - парова турбіна; 16 - електрогенератор; 17 - збуджувач генератора; 18, 21 - водяні насоси; 19 - конденсатор; 20 - змійовик; 22 - водоохолоджувач (градирня); 23 - силовий трансформатор; 24 - лінія електропередачі

Крім основного (пароводяного) є ще охолоджуючий контур. Він складається: зі змійовика 20, циркуляційного водяного насоса 21 і градирні 22, в якій вода проохолоджується навколишнім повітрям.

Вироблену електрогенератором 16 електричну енергію після підвищення її напруги в трансформаторі 23 подають до лінії електропередачі 24. Збудник 17 призначений для створення струму збудження в генераторі 16.

Основні елементи ТЕС зображені на рис. 1.5, 1,6, там же наведені значення ККД перетворення і передачі енергії основними елементами. Теплота, що виділяється при спалюванні палива в котлі 1, випаровує воду і нагріває пару (робоче тіло). Нагріта пара під високим тиском поступає до турбіни 2, що приводить в обертання турбогенератор 3 змінні струми. Електроенергія, яку виробляє турбогенератор, поступає в підвищувальний трансформатор 4, ЛЕП — 5, понижувальний трансформатор 6 і далі в мережу, що живить споживачів електроенергією [5].

Атомні електричні станції (АЕС). В принципі це теплові електростанції, в яких теплота виділяється за рахунок реакції розпаду радіоактивних елементів у ядерному реакторі.

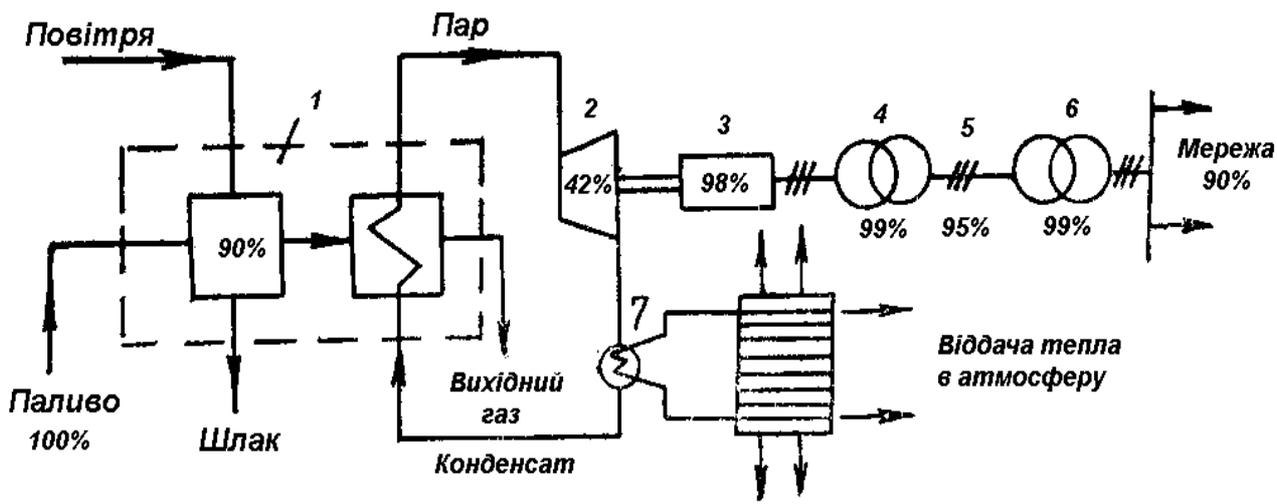


Рис. 1.5 - Основні елементи ТЕС



Рис. 1.6 - Схема теплової електростанції і лінії електропередач:
 1 - казан; 2 - турбіна; 3 - генератор; 4 - підвищувальний трансформатор; 5 - лінія електропередач; 6 - понижувальний трансформатор; 7 - конденсатор

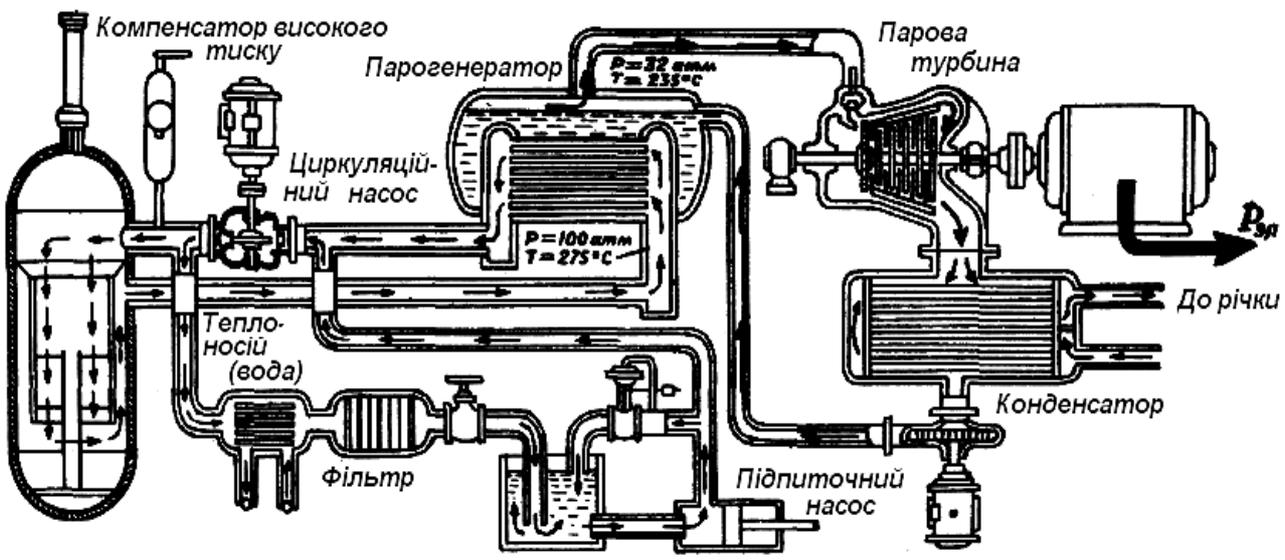


Рис. 1.7 - Схема атомної електростанції і лінії електропередач:
 1 - реактор; 2 - теплообмінник; 3 - насоси; 4 - турбіна; 5 - конденсатор; 6 - генератор; 7 - підвищувальний трансформатор; 8 - ЛЕП; 9 - понижувальний трансформатор

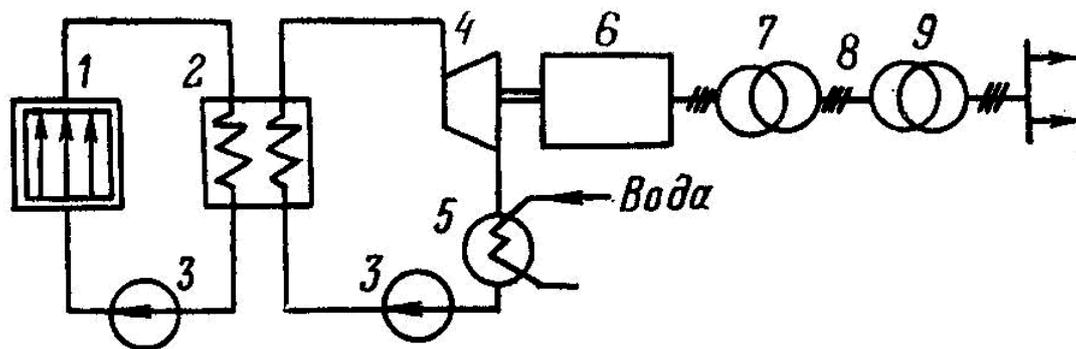


Рис. 1.8 - Основні елементи АЕС

Загальний вигляд теплової електростанції зображений на рис. 1.5.

Перша АЕС у світі була введена в дію СРСР в 1954 р. потужністю 5000 кВт. На сьогодні в світі налічують понад 200 АЕС загальною потужністю понад 100 млн. кВт. Схема АЕС зображена на рис. 1.7.

Основні елементи АЕС зображені на кінематичній схемі рис 1.8.

Ядерне паливо завантажують до реактора 1 (рис. 1.8). Теплота, що виділяється за рахунок ділення ядер урану в реакторі, нагріває теплоносії (воду під тиском, газ і ін.), що циркулює в замкнутому контурі для запобігання радіоактивного зараження. В теплообміннику 2 теплота поступає в другий контур, де утворюється пара з високою температурою і тиском, що обертає турбіну 4.

У найближчі 20—25 років розвиватиметься атомна енергетика, головним чином, з освоєними реакторами на швидких нейтронах. Проте в цьому типі реактора уран (уран-235) використовується на 0,7%. Тому належить використовувати уран-238, який може бути використаний на 99,3%, але для цього належить подолати значні технічні труднощі [6].

Енергетика повинна надати людству достатньо і зростаючу кількість електроенергії. У зв'язку з цим удосконалюють як традиційні методи отримання електроенергії, так і розробляють нові.

Істотного підвищення ефективності теплових станцій (повний ККД якої близький до 40%) можна добитися введенням в схему перетворення магнітогідродинамічних (МГД) генераторів (рис. 1.9).

У даній схемі між металевими пластинами, що розташовані в сильному магнітному полі, пропускають струмінь іонізованого газу (плазми), що володіє кінетичною енергією спрямованого руху частинок.

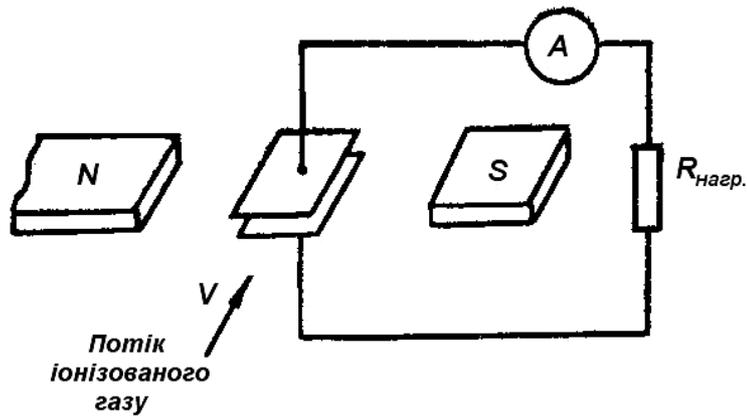


Рис. 1.9 - Принцип дії МГД - генератора

Відповідно до закону електромагнітної індукції з'являється ЕРС, що викликає протікання електричного струму між електродами всередині каналу генератора і в зовнішньому ланцюзі. Відпрацьований в цьому генераторі газ, що розширився і охолоджений, використовується для нагріву парового котла звичної теплової станції. Застосовуючи подібну схему МГД генератора, можна підвищити ККД електростанції до 50 - 550% [6,7].

При перспективному плануванні атомної енергетики, особливу увагу надають розробці установок термоядерного синтезу. Згідно з прогнозом, початок промислового використання термоядерного синтезу намічається тільки на кінець ХХІ століття. Великий внесок в боротьбу за оволодіння керованою термоядерною реакцією внесли радянські учені.

Енергетичною програмою передбачено ширше використовувати нетрадиційні відновлювані енергоресурси. З таких джерел розглядається сонячна енергія, як вид променистої енергії сонця, так і її похідні — енергія вітру, хвиль, температурні перепади в морях, енергія землі, в першу чергу - тепла енергія земних надр. В цілому сонячна енергія -практично необмежене джерело, потужність якого на поверхні землі еквівалентна $1,2 \cdot 10^{14}$ т у. п. в той час як світові запаси органічного палива оцінюються всього в $6 \cdot 10^{12}$ т у. п. [7].

Особливість цих видів енергії — мала концентрація. Тому для отримання значних потужностей необхідно створювати сприймаючі системи великих габаритів. Питання полягає в тому, чи можна створити прості й надійні конструкції, що можуть використовувати ці потоки енергії.

1.3. Економія енергетичних ресурсів

Техніко-економічне зіставлення різних шляхів забезпечення народного господарства паливно-енергетичними ресурсами показало, що найефективнішою мірою на сучасному етапі розвитку енергетики є жорстка енергозберігаюча політика. Іншими словами, економія енергії повинна розглядатися нині як найважливіше джерело енергопостачання.

Основними напрямками економії палива і енергії у виробництві в кінцевому споживанні є [5] :

- розширення масштабів упровадження вже відпрацьованих в промислових умовах енергозберігаючих технологій, устаткування, машин, механізмів і матеріалів;
- ліквідація або істотне скорочення енергетичних втрат при видобуванні, транспортуванні, зберіганні, перетворенні і споживанні енергоресурсів;
- перехід на нові енергозберігаючі технології, укрупнення одиничних потужностей технологічних процесів;
- комплексна автоматизація технологічних процесів, агрегатів і виробництва на базі сучасної обчислювальної техніки;
- удосконалення методів обліку і контролю за витрачанням палива, електричної і теплової енергії;
- розширення масштабів освоєння відновлюваних джерел енергії;
- прискорення створення і впровадження нових методів перетворення енергії.

Добре відомо, що на сучасному промисловому підприємстві використовують різні енергоносії: вугілля, газ, нафту, електричну енергію, плюс теплові і горючі вторинні енергоресурси, що одержані при виробництві основної продукції. Як правильно пов'язувати всі ці енергетичні ресурси? З яких техніко-економічних міркувань слід виходити при виборі того або іншого енергоносія? Як впливає той або інший енергоносій на собівартість продукції, яку випускають? Які енерговитрати є і будуть при переході з одного вигляду продукції на іншій? Відповіді на ці та інші питання, що зв'язані з використанням енергетичних ресурсів, мають бути в багажі сучасного інженера незалежно від його спеціалізації.

За своїм характером енергозберігаючі заходи умовно можуть бути розподілені на коротко-, середньо- і довгострокові [3,4] .

До числа короткострокових заходів, що не вимагають крупних капітальних вкладень, відносять:

- організаційно-технічні, складання енергетичних балансів підприємств з подальшим техніко-економічним аналізом витрачання енергії;
- організація строгого обліку і контролю за витрачанням паливно-енергетичних ресурсів (ТЕР);
- ліквідація прямих втрат енергії за рахунок порушення ізоляції, нещільності арматури, огорож і т.п.;
- виявлення причин невідповідності витрачання ТЕР проектним показникам з розробкою заходів щодо їх ліквідації;
- витрачання палива і енергії, поліпшення пропаганди передових досягнень в сфері енергопостачання і розширення обміну досвідом.
- До середньострокових заходів відносять:
- будівництво атомних електростанцій для вироблення електричної енергії, тепла і виявлення на цій основі дефіцитних видів органічного палива;
- будівництво теплових електростанцій на твердому паливі, що обладнані сучасними високоефективними енергоблоками;
- будівництво високоманеврених установок на базі гідроакумуючих електростанцій, газотурбінних, парогазових і паротурбінних агрегатів;
- розвиток електромережного господарства, ліній електропередачі надвисокої напруги на постійному і змінному струмі;
- будівництво могутніх гідроелектростанцій, а також щодо невеликих ГЕС з автоматизацією всіх технологічних процесів;
- технічна реконструкція діючих виробництв на основі впровадження досконалої техніки і технології, що дозволяє з меншими енерговитратами одержувати продукцію. Це — нові теплоізоляційні матеріали, машини з більш високим ККД, досконаліші теплообмінники і др.;
- підвищення коефіцієнта використання вторинних теплових і горючих енергоресурсів;
- підвищення ступеня централізації вироблення тепла за рахунок будівництва ТЕЦ, крупних котельних, упровадження теплових насосів;
- розробка заходів щодо зниження матеріаломісткості продукції, яку випускають, і підвищення терміну її служби;
- створення комбінатів з утилізації відходів виробництва в містах, включаючи питання спалювання сміття.

До заходів довгострокового характеру можуть бути віднесені:

- освоєння в широких масштабах відновлюваних джерел енергії — сонячної, вітрової, геотермальної, енергії біомаси, приливної енергії морів;
- розширення сфери використання ядерної енергії в металургійній, хімічній і інших галузях промисловості;
- упровадження принципово нових типів виробництва з низькою енерго- і матеріаломісткістю;
- створення довговічних акумуляторів великої ємності для тепла і електричної енергії, зокрема для транспорту;
- створення дослідно-промислових зразків і розширення досліджень в галузі освоєння водневої технології, термоядерного синтезу, криогенної техніки, нових видів ядерних реакторів;
- виробництво синтетичного рідкого палива з вугілля і сланців.

У даний час відбувається дуже важливий період в житті електроенергетики — період корінної її перебудови. Він вимагає сміливих, але грамотних рішень, рішень неординарних при дуже швидких темпах роботи і головну роль в цій роботі належить зіграти сучасному інженеру.

Контрольні запитання до розділу 1

- 1 Що включає «Електроенергетика» ?
- 2 Джерела електричної енергії.
- 3 Поняття «Енергосистема».
- 4 Яким чином енергетика негативно впливає на екологію ?
- 5 Назвіть нетрадиційні джерела енергії.
- 6 Коротка характеристика ГЕС.
- 7 Коротка характеристика ТЕС.
- 8 Відмінність між КЕС і ТЕЦ.
- 9 Коротка характеристика АЕС.
- 10 Принцип дії МГД.
- 11 Які енергозберігаючі заходи Вам відомі ?

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Електропровідність – це здатність речовини проводити електричний струм.

Електронна провідність характерна для металевих провідників, вона буває обумовлена рухом як електронів, так і іонів.

У рідких провідниках при подачі напруги до електродів, занурених у електропровідну рідину — (електроліт), створюється спрямований рух іонів — позитивні іони рухаються до катоду, негативні — до аноду. Отже, електричний струм у рідких провідниках зумовлений спрямованим рухом іонів.

Процес протікання електричного струму в рідинах супроводжується зміною їхніх хімічних властивостей і виділенням речовини на електродах.

За нормальних умов гази не проводять електричний струм, тому що в них відсутні вільні носії струму. Щоб газ став провідником, його необхідно іонізувати, що може відбутися під дією різних факторів: високої температури, великої різниці потенціалів, за рахунок опромінення рентгенівськими променями та ін. При подачі напруги до електродів, що встановлені в іонізованому газовому середовищі, протікає електричний струм, який зумовлений рухом електронів і негативних іонів до аноду, а позитивних іонів — до катоду.

Кількісно електропровідність матеріалів оцінюють значенням питомої провідності γ (виражають в сименсах на метр, Сим/м) і питомого опору ρ (виражають в омах на метр, Ом·м). Ці величини зворотно пропорційні.

За значенням питомого опору електротехнічні матеріали підрозділяють на три основні групи (табл. 2.1) [4].

2.1. Провідники

Провідники — це матеріали, в яких за нормальних умов є вільні електричні заряди і які при прикладенні напруги проводять електричний струм.

Слід підкреслити, що концентрація вільних електричних зарядів у провідниках дуже велика. Так, наприклад, для металів вона складає порядок 10^{23} ел./см³. Провідники бувають тверді, рідкі і газоподібні (іонізовані гази). Як провідники для електротехнічних кіл використовують винятково тверді матеріали (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Класифікація електротехнічних матеріалів і їхні властивості.

Група	Вид матеріалу	Питомий опір ρ , Ом·м	Вид електропровідності
I. Провідники	Метали і їхні сплави. Електроліти. Іонізовані гази.	$10^{-8} - 10^{-5}$	Електронна. Іонна. Електронна та іонна.
II. Напівпровідники	Германій, кремній, селен і та ін.	$10^{-6} - 10^9$	Електронна
III. Діелектрики	Скло, слюда, порцеляна, каучук, пластмаси, гази і та ін.	$10^7 - 10^{20}$	Електронна та іонна

Таблиця 2.2 – Провідникові матеріали.

Матеріал	Призначення	Питомий опір
Мідь Алюміній Срібло Залізо Натрій Бронза Латунь	Дроти, кабелі, струмопровідні деталі, контактні елементи і та ін.	Низький
Ніхром Канталь Фехраль Константан Манганін	Нагрівальні елементи, реостати, резистори і та ін.	Високий
Свинець Олово Нікель Вольфрам Електротехнічне вугілля	Акумулятори, припої, електрощітки і та ін.	Визначають призначенням

Таблиця 2.3 – Електротехнічні характеристики металів і сплавів при 20 °С.

Найменування	Питомий опір ρ , Ом·м	Питома електропровідність γ , Сим/м
Срібло Ag	$0.016 \cdot 10^{-6}$	$62.5 \cdot 10^6$
Мідь Cu	$0.018 \cdot 10^{-6}$	$55.0 \cdot 10^6$
Алюміній Al	$0.027 \cdot 10^{-6}$	$35.0 \cdot 10^6$
Бронза	$(0.021 \div 0.052) \cdot 10^{-6}$	$(47.6 \div 19.2) \cdot 10^6$
Сталь	$(0.103 \div 0.107) \cdot 10^{-6}$	$(9.7 \div 7.29) \cdot 10^6$
Чавун	$0.501 \cdot 10^{-6}$	$1.99 \cdot 10^6$
Константан	$0.50 \cdot 10^{-6}$	$2.0 \cdot 10^6$
Канталь	$1.45 \cdot 10^{-6}$	$0.69 \cdot 10^6$

Про якість провідників судять за їхніми властивостями. Електричні властивості провідників визначають в основному питомою провідністю і питомим опором (табл. 2.3).

Із зростанням температури опір металевих провідників підвищується. Причиною цього є збільшення амплітуди і частоти коливань атомів у кристалічних ґратках металу з підвищенням температури, що утрудняє рух електронів.

У напівпровідників і рідких провідників (електролітів) залежність від температури зворотна: зі збільшенням температури опір зменшується. Причина цього — у збільшенні концентрації носіїв струму при підвищенні температури.

Відоме явище надпровідності, яка настає в деяких металах і сплавах при їхньому охолодженні до температури, близької до абсолютного нуля (-273.15°C). В останні роки в ряді лабораторій світу створені дослідні зразки матеріалів, в яких надпровідність виникає при температурах, що значно перевищують абсолютний нуль — так звані високотемпературні надпровідники. Використання надпровідності на практиці зустрічається з безліччю важко розв'язаних проблем.

Опір провідників залежить також від частоти струму, що проходить через них. Змінний струм розподіляється нерівномірно по перерізу провідника. Ближче до поверхні провідника щільність струму більша, а до центра-вона зменшується. Це явище називають поверхневим ефектом. У провідника з малим перерізом і для струму промислової частоти цей ефект виражений недостатньо.

Вироби з провідників. Вироби з провідників численні і мають різну конструкцію, але за деякими характерними ознаками їх можна розділити на дві основні групи:

1. Провідники і кабелі – для них характерна значна довжина в порівнянні з поперечним перерізом. Сфера застосування провідників і кабелів досить різноманітна.
2. Струмопровідні деталі – основні струмопровідні елементи в електричних апаратах, машинах і інших пристроях: затискачі, контакти, що зв'язують елементи і та ін.

В залежності від призначення і місця монтажу, струмопровідні деталі можуть бути ізольовані і неізольовані і мати різну конструкцію. Їх виготовляють з міді або алюмінію, а при необхідності для більшої механічної міцності і зносостійкості – з латуні, бронзи, металокераміки і та ін.

З'єднання між струмопровідними деталями повинні бути виконані так, щоб забезпечувалася потрібна електропровідність. Нерозбірні з'єднання виготовляють пресуванням, зварюванням або пайкою.

Зварювання використовують головним чином, при створенні великих виробів. У залежності від матеріалу провідника і його розмірів, зварювання може бути електродуговим, контактним або газовим.

Пайку використовують для створення виробів з невеликими розмірами. Нагріваючи вироби, що підлягають пайці, і використовуючи відповідні флюси і припої, одержують контакти механічно міцні з малим перехідним опором з'єднання.

2.2. Електричні апарати

Електричні апарати — це електротехнічні пристрої, що призначені для керування електричними і неелектричними об'єктами, а також для захисту цих об'єктів за ненормальних режимів роботи [4].

Електричні апарати відіграють важливу роль на всіх етапах виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

2.2.1. Високовольтні апарати

Високовольтні апарати призначені для роботи в мережах напругою $U \geq 1000$ В.

Високовольтні вимикачі — пристрої, що призначені для вмикання і вимикання електричних кіл напругою понад 1000 В під навантаженням і для автоматичного вимикання при небезпечних перевантаженнях і коротких замиканнях.

Швидке вимикання кіл при короткому замиканні найбільш відповідальна операція, яку виконують за допомогою вимикачів, тому що запобігає ушкодженню устаткування і порушенню нормальної роботи енергосистеми.

Струми короткого замикання в колах високої напруги звичайно досягають десятків і сотень кілоампер.

При розмиканні контактів вимикачів виникає електрична дуга, що збільшує час відключення струму і руйнує контакти. Тому у високовольтних вимикачах необхідне швидке гасіння дуги. Існують різні способи гасіння дуги, засновані на її інтенсивній деіонізації й охолодженні, підвищенні електричної міцності середовища, в якому дуга може виникнути.

Спосіб гасіння дуги є основним чинником, що визначає конструкцію вимикачів.

Розрізняють масляні, повітряні, елегазові, автогазові, електромагнітні, вакуумні й інші вимикачі. Керують вимикачами спеціальним приводом і, як правило, дистанційно. В установках порівняно невеликої потужності застосування високовольтних потужних вимикачів недоцільне через їхню велику вартість і розміри. Тому в цехових, сільськогосподарських і підсобних підстанціях використовують так звані вимикачі навантаження. Це — автогазові вимикачі, що не розраховані на переривання струмів короткого замикання; як правило, їх встановлюють разом з високовольтними плавкими запобіжниками.

Роз'єднувачі — апарати, що призначені для комутації ділянок електричних кіл під напругою при відсутності струму навантаження.

Їх застосовують для забезпечення видимого розриву кола, а також для переключення при складанні необхідної схеми електричних з'єднань. Роз'єднувачі можуть виготовляти однополюсними і трьохполюсними. Поліус роз'єднувачів незалежно від розмаїтості їхніх конструкцій складається з нерухомого і рухомого (ножа) контактів, що укріплені на ізоляторах, опорної плити і рами. Роз'єднувачі можуть мати ручний, електродвигуновий або пневматичний привод.

У сучасній потужній електричній мережі для зниження струмів короткого

замикання і створюваних ними електродинамічних сил застосовують струмообмежуючі реактори.

Реактор — це котушка індуктивності, що розрахована на протікання великих струмів.

Для підтримки постійним індуктивного опору реактори виконують без сталевих сердечників, внаслідок чого вони мають великі розміри і масу.

Розрядники — апарати для захисту електроустановок від перенапруг (наприклад, при грозі).

У розряднику перенапругу знижують до значень, що безпечні для ізоляції мережі, яку захищають, а енергію перенапруги відводять в землю через заземлюючий провідник.

Принцип дії різних конструкцій розрядників заснований на електричному пробі ізоляційного проміжку з наступним відновленням його електричної міцності (після зняття перенапруги).

Останнім часом замість розрядників застосовують нелінійні обмежувачі перенапруги (ОПН), які мають значно кращу захисну характеристику. В ОПН ізоляційний проміжок відсутній.

2.2.2. Апарати низької напруги

До апаратів низької напруги відносять пристрої, що працюють в електричній мережі до 600 В. Серед них розрізняють комутаційні апарати, апарати захисту, пускові й регульовальні резистори, реле різного призначення.

Рубильники — це найпростіші ручні комутаційні апарати.

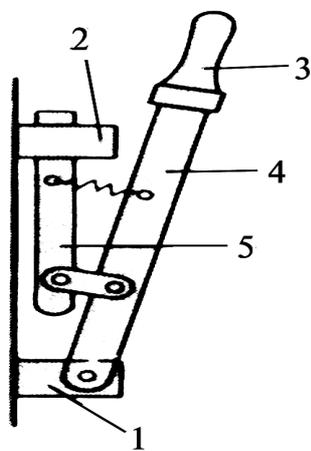


Рис. 2.1.- Будова рубильника

Рубильники можуть бути одно-, дво- і триполюсними. Їхні основні елементи (рис. 2.1): контакти, дугогасильний пристрій, привід. Контактні ножі 4 рубильника можуть шарнірно повертатися в нижньому контакті 1 і при включенні затискуються в пружних губках 2 верхніх контактів. Рубильники можуть мати центральну або бічну рукоятку 3 або важільний привід.

Для гасіння дуги використовують дугогасильні контакти 5 і спеціальні дугогасильні камери.

Пакетні вимикачі — пристрої, які використовуються в мережах з напругою до 380В і струмами до 100А і призначені для переключень, які виконуються одночасно в декількох електричних колах рис.2.2.

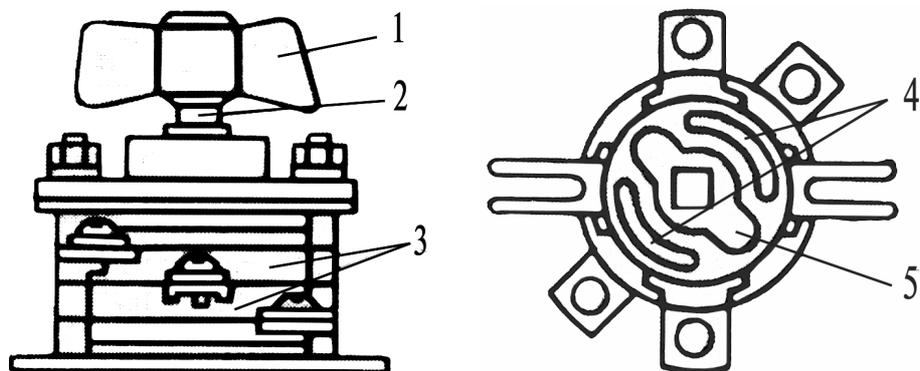


Рис. 2.2 - Будова пакетного вимикача

Вони складаються з декількох малогабаритних однополюсних вимикачів 3, що розташовані на загальній осі 2 один над одним і керованих за допомогою загальної рукоятки 1 (рис. 2.2). В одній площині з рухомими контактами 5 розміщують фіброві дугогасильні шайби, що обертаються разом з контактами.

Приводний механізм при повороті рукоятки переводить рухомі контакти з одного фіксованого положення в інше, замикаючи їх з нерухомими контактами 4 (або розмикаючи їх).

Запобіжники — пристрої для захисту електричної мережі від перевантажень і коротких замикань.

Елементом запобіжників, який розриває коло, є плавка вставка - дріт або металева пластинка, що розплавляється при протіканні нею струму, небезпечного для мережі, яку захищають.

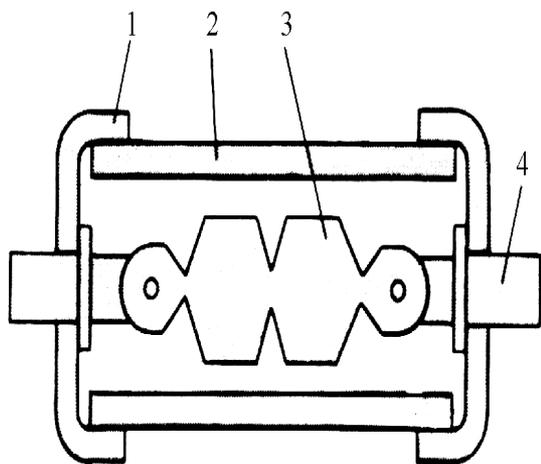


Рис. 2.3. - Будова запобіжника

На рис. 2.3 зображена будова розбірного трубчастого запобіжника, який складається: з трубки 2 з фібри; ковпаків, що нагвинчуються 1; контактних ножів 4.

Усередині трубки до ножів приєднана плавка вставка 3. При перегорянні вставки під впливом високої температури невелика частина фібри розкладається. В цей час й у закритому корпусі розвивається

тиск газів до 100 атмосфер. Дуга яка виникла швидко гасне.

У запобіжниках іншого типу плавка вставка поміщена в корпус, заповнений кварцовим піском, що також сприяє швидкому гасінню дуги.

Один і той самий запобіжник можна використовувати з плавкими вставками на різні номінальні струми.

Номінальний струм запобіжника — це найбільший з номінальних струмів плавких уставок, призначених для даної конструкції запобіжника.

Після відключення кола замінюють або перегорілу вставку, або весь запобіжник.

Простота влаштування й обслуговування, малі розміри, висока вимикаюча здатність, невелика вартість забезпечили запобіжникам широке застосування. Запобіжники низької напруги виготовляють на струми від міліамперів до тисяч амперів і на напругу до 660 В. Недоліком запобіжників є те, що вони, в основному, одноразової дії.

Автоматичні повітряні вимикачі (автомати) — це апарати, що служать для автоматичного розмикання електричних кіл при порушенні нормального режиму їхньої роботи, а також для нечастих замикань і розмикань кіл у нормальних умовах.

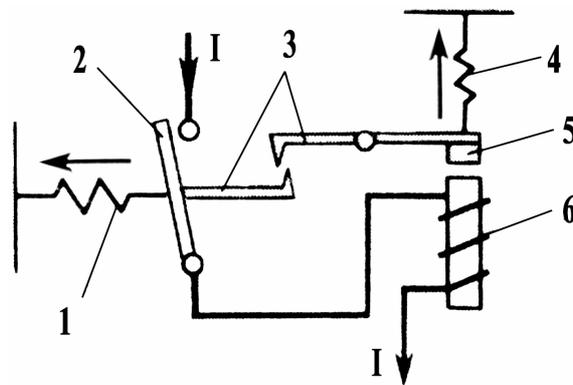


Рис. 2.4 – Влаштування автомата максимального струму

В автоматах є ефективна система гасіння дуги (дугогасильні котушки і решітки) і механізм вільного розчіплювання (система шарнірно-пов'язаних важелів).

Цей механізм приводиться в дію біметалічним тепловим (реагуючим на перевантаження) або електромагнітним (реагуючим на струм короткого замикання або зниження напруги) елементом і виконує швидке відключення кола. Включати і відключати автомати можна як вручну, так і дистанційно. На рис. 2.4 зображена схема влаштування автомата максимального струму. Коли

струм I стає більше заданого значення, електромагніт 6, притягаючи якір 5, переборює зусилля протидіючої пружини 4 і звільняє фіксатор 3. Під дією поворотної пружини 1 відбувається швидке розмикання контактів 2.

Резистори — пристрої, призначені для обмеження або регулювання струму і напруги.

Їх використовують як пускові, гальмові, регулюючі, розрядні опори в електричних колах низької напруги, електроприводів і інших електроприймачів. Резистори виготовляють з матеріалів з високим опором у широкому діапазоні їхніх номінальних значень (від одиниць ом до десятків кілоом) і припустимих струмів (від одиниць до сотень амперів).

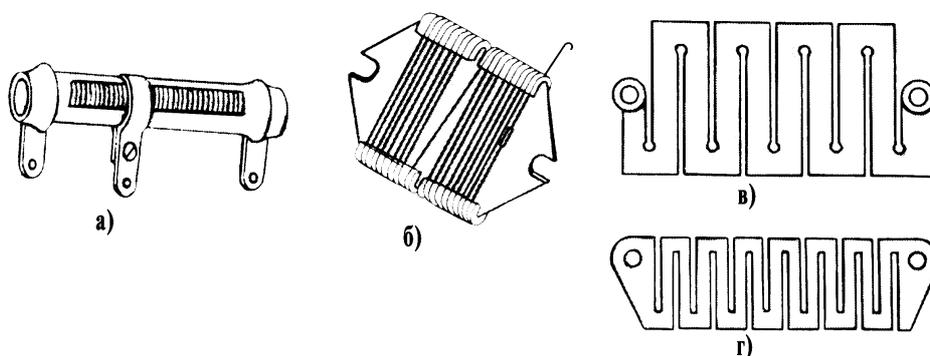


Рис. 2.5.- Конструкція резисторів

Конструкції резисторів різноманітні. Найбільш розповсюдженими з них є: трубчасті резистори (рис.2.5,а), виконані з ніхромового або константанового дроту на теплоємному керамічному або порцеляновому каркасі і покриті емаллю для поліпшення тепловіддачі; резистори рамкової конструкції (рис. 2.5, б), у яких дріт або стрічка з константану або фехралю намотані на порцелянові ізолятори, закріплені на ребрах сталевих пластин тримача (з таких резисторів можна комплектувати «шафи опорів», які звичайно використовують в силових колах електроприводів); чавунні литі (рис. 2.5, в) і сталеві (рис. 2.5, г), штамповані з електротехнічної сталі, резистори. Чавунні литі і сталеві штамповані резистори збирають у шафи у виді пакетів на ізольованих стержнях.

Реостати — апарати, що складаються з резисторів і пристроїв для регулювання опору і призначені для безрозривної зміни опору,

У металевих реостатах (рис.2,б) безрозривна зміна опору здійснюється за рахунок ковзання пружного контакту 1 по резистору 2, намотаному на направляючий струмоведучий стержень 3 (або на кільце в реостаті з круговим рухом рукоятки).

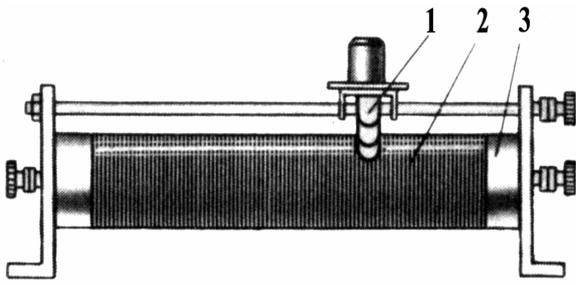


Рис. 2.6 - Вигляд реостата з повзунком

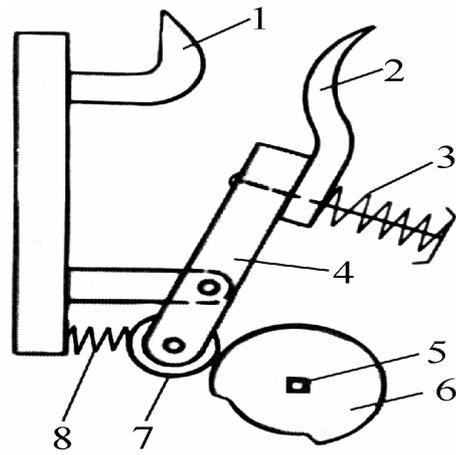


Рис. 2.7. - Схема контактної елементу кулачкового контролера

У реостатах зі ступінчастою зміною опору щітка плоского перемикача ступенів ковзає нерухомими контактами, що зв'язані з набором резисторів.

У рідинних реостатах опір плавно регулюється зміною глибини занурення електродів в електроліт.

Контролери — комутаційні апарати ручного керування з великим числом контактних елементів.

Контролери служать для пуску, реверсу і регулювання частоти обертання двигунів. Різні схеми з'єднання одержують поворотом рукоятки контролера на визначений кут.

На рис. 2.7 наведена схема контактної елементу найбільш розповсюдженної конструкції силового кулачкового контролера. Дія на контактний важіль 4 передається від приводного вала 5 через фігурний кулачок 6 і ролик 7. Пружина 3 забезпечує необхідне стискання контактів 1 і 2 при включенні, пружина 8 — поворотна.

Командоконтролери — апарати для дистанційного керування потужними електродвигунами.

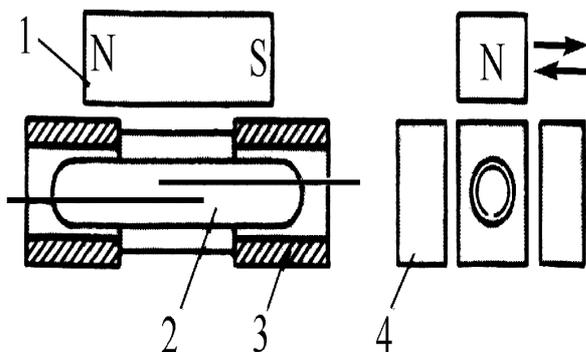


Рис. 2.8.- Схема шляхового вимикача із застосуванням магнітокерованого контакту

Їх використовують для включення і відключення котушок контакторів і інших апаратів. Влаштування командоконтролерів аналогічне влаштуванню силових контролерів. У них може бути привод від двигуна, і тоді їх називають програмними реле.

Універсальні перемикачі — пристрої для переключення великого числа кіл керування.

Вони бувають різних типів і серій і відрізняються один від одного числом секцій, діаграмою замикання контактів, числом фіксованих положень і кутом повороту рукоятки.

Кнопки керування, часто поєднуються в кнопкові пости, а також шляхові і кінцеві вимикачі, — це командоапарати, які використовують для переключень у колах керування.

Шляхові і кінцеві вимикачі широко застосовують у металорізальних верстатах і підйомно-транспортних пристроях. Усі подібні елементи мусять мати високу зносостійкість, оцінювану звичайно сотнями тисяч циклів.

Широкі можливості для підвищення зносостійкості і точності роботи командоапаратів дає застосування магнітокерованих контактів (рис. 2.9).

Принцип дії такого контакту заснований на тому, що постійний магніт 1, який зв'язаний з механізмом, приводить до спрацьовування магніто-керованого контакту 2 у залежності від положення механізму. Полюсні башмаки 3 і 4 служать для підвищення точності спрацьовування апарата.

Електромагнітні контактори — електричні апарати, призначені для включення і відключення силових кіл за допомогою електромагнітів.

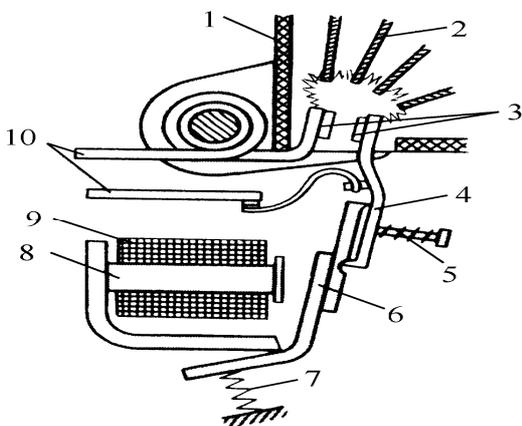


Рис. 2.9 – Будова контактора постійного струму

Будова контактора постійного струму наведена на рис. 2.9.

З появою струму збудження в обмотці 9 головні контакти 3 замикаються під дією пружини 5 за рахунок притягання якоря 6 з важелем 4 до ярма 8. Розмикання контактів відбувається під впливом пружини 7. У конструкції використовується дугогасильна камера 1 із решіткою з мідних пластин 2, що поліпшують відвід тепла від дуги. Позиція 10 відповідає вводам струму.

Електромагнітні контактори змінного струму використовують у магнітних пусках – комплектних пристроях, що складаються з триполюсного контактора, двох теплових реле, кнопок керування і призначені для дистанційного керування і захисту від перевантажень асинхронних двигунів. Основними величинами, що характеризують контактор (крім номінального струму і напруги) є час спрацьовування і відпускання, а також напруга втягуючої котушки.

Реле — пристрої, в яких при досягненні визначеного значення вхідної величини вихідна величина змінюється стрибком. Вхідною величиною для реле можуть бути механічні, теплові, електричні й інші зовнішні впливи. Реле використовують для захисту електричних кіл, а також для виконання логічних і вимірювальних функцій у системах керування. Реле захисту електричних кіл спрацьовують при порушенні нормального режиму роботи або відключають ушкоджену ділянку, відновлюючи нормальний режим роботи.

Широке поширення одержали електричні реле захисту (електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні), що реагують на зміну струму в обмотці керування. У первинних реле обмотка включається безпосередньо в основне коло об'єкта, що захищається, у вторинних – у вторинні кола вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

Розглянемо принципову схему захисту приймача електроенергії за допомогою реле максимального струму, зображену на рис. 2.10.

Включення живлення приймача виконують силові контакти контактора K , котушка якого підключається до джерела при замиканні кнопки Kn_1 . Блокувальний контакт K шунтує кнопку Kn_1 , що дозволяє відпустити її після короткочасного натискання.

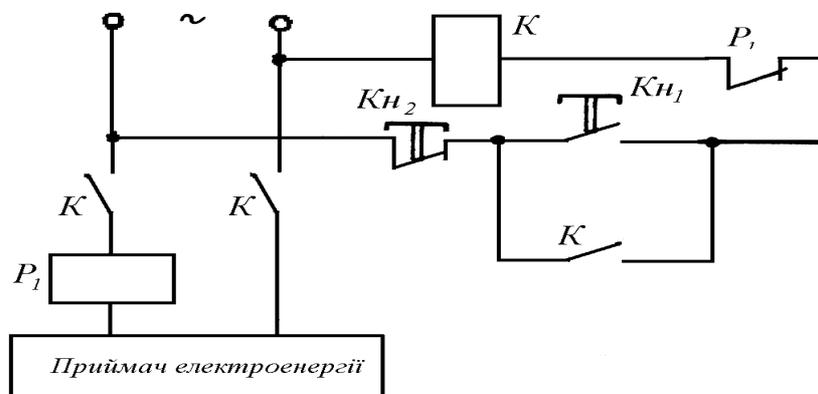


Рис. 2.10.- Схема вмикання реле максимального струму для захисту приймача електроенергії

Відключається приймач при натисканні на кнопку Kn_1 , яка розриває коло

живлення котушки К. Реле максимального струму P_1 , котушка якого включена послідовно в контрольоване коло, спрацьовує, якщо струм у цьому колі перевищує припустимі значення.

При цьому розмикається контакт P_1 у колі котушки контактора К. Вона знеструмлюється, контакти контактора в силовому колі і колі керування розмикаються. Припиняється подача струму до приймача, і для його вмикання треба знову натиснути кнопку

Контрольні запитання до розділу 2

1. Поняття «електропровідність».
2. На які основні групи підрозділяються електротехнічні матеріали за значенням питомого опору ?
3. Поняття «провідники».
4. Які виробі з провідників Вам відомі ?
5. Високовольтні апарати.
6. Апарати низької напруги.
7. Призначення запобіжників.
8. Контактори постійного струму.
- 9.

РОЗДІЛ 3. ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

Тяговий електропривод (ТЕП) — це система пристроїв на рухомому складі, що забезпечують кероване перетворення енергії одного виду в інший. Так, у режимі тяги відбувається перетворення електричної енергії в механічну, яка реалізується на ведучих колесах локомотива і викликає його рух. У режимі електричного гальмування механічна енергія локомотива, що рухається за інерцією, перетвориться в електричну.

ТЕП складається із [8]:

- системи керування тягового електродвигуна (ТЕД);
- карданного вала чи пружної муфти, що дозволяють передавати обертаючий момент під різними кутами;
- редуктора, що знижує швидкість обертання якоря ТЕД;
- півосей, що передають обертаючий момент на колеса;
- диференціала, що дозволяє ведучим колесам локомотива обертатися з різною швидкістю при повороті на нерівностях шляху.

Передаточне число тягового електропривода $I = n_{\text{дв}}/n_{\text{к}} > 1$, де $n_{\text{дв}}$ — швидкість обертання вала якоря ТЕД; $n_{\text{к}}$ — швидкість обертання коліс екіпажа [8].

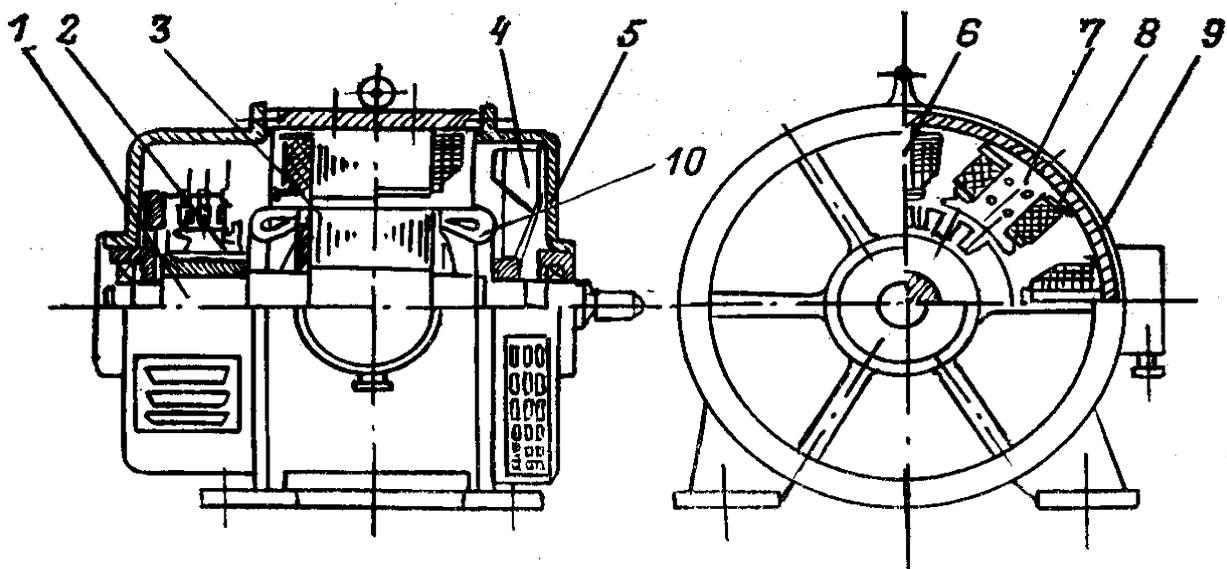


Рис. 3.1 - Тяговий двигун постійного струму:

1 - вал; 2 - колектор; 3 - якір; 4 - вентилятор; 5 - підшипниковий щит; 6 - додатковий полюс; 7 - головний полюс; 8 - обмотка порушення; 9 станина (ядро); 10 - робоча обмотка якоря

До ТЕП пред'являються високі вимоги, це:

- можливість застосування швидкохідних ТЕД;
- простота і надійність елементів ТЕП;
- простота розбирання і збирання ТЕП;
- висока і рівномірна зносостійкість;
- можливість транспортування ЕРС при несправності ТЕП;
- мінімальна маса невіднесених елементів ТЕП;
- можливість застосування коліс малого діаметра.

Основний елемент ТЕП — тяговий електродвигун постійного струму (рис. 3.1)

3.1 Принцип дії двигуна постійного струму

Сучасна конструкція ТЕД зображена на рис. 3.2 -3.4.

Розглянемо провідник зі струмом I , розташований перпендикулярно напрямкові магнітних силових ліній однорідного магнітного поля (рис.3.2) [5].

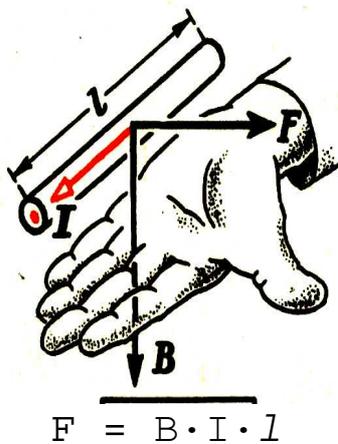


Рис.3.2 - Електромагнітна сила (F) провідника (сила, що діє на провідник із струмом у магнітному полі

Обертальний момент якоря

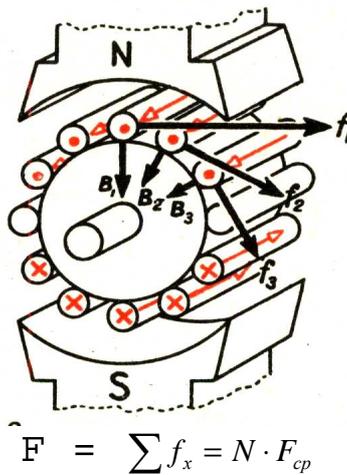


Рис.3.3 - Електромагнітна сила провідника якоря: N – кількість провідників

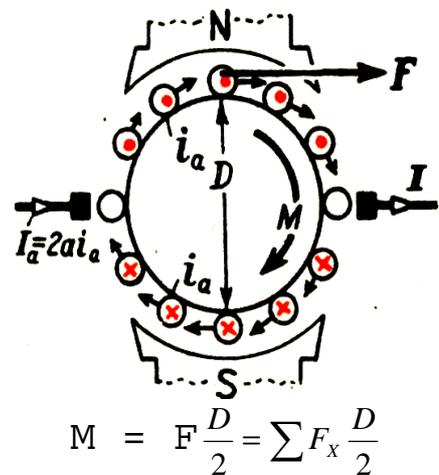


Рис. 3.4 - Обертаючий момент якоря (сума електромагнітних моментів всіх N провідників якоря)

Напрямок дії електромагнітної сили F на провідник визначають «правилом лівої руки» (рис. 3.2, 3.3): якщо розташувати ліву руку так, щоб магнітні лінії пронизували долоню, а витягнуті чотири пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий великий палець укаже напрямок дії електромагнітної сили. А обертаючий момент якоря є сума електромагнітних моментів усіх N провідників якоря (рис.3.4).

За цією силою можна судити про інтенсивності магнітного поля, тобто про його магнітну індукцію. Якщо на провідник довжиною один метр зі струмом 1А, що розташований перпендикулярно магнітним лініям у рівномірному магнітному полі, діє сила в один ньютон, то магнітна індукція такого поля дорівнює одній теслі (Тл).

Магнітна індукція — векторна величина: у кожній точці поля вектор магнітної індукції спрямований по дотичній до магнітних силових ліній.

Магнітний потік - величина, яку вимірюють добутком магнітної індукції B на площу S , що перпендикулярна до вектора магнітної індукції, називається магнітним потоком, Φ [5]:

$$\Phi = B \cdot S. \quad (3.1)$$

Якщо магнітну індукцію виражають у теслах, а площу в квадратних метрах, то потік виражають у веберах (Вб): $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \times 1 \text{ м}^2$.

Магніторушійна сила (МРС). Здатність струму збуджувати магнітне поле характеризується магніторушійною силою, що діє вповдовж замкнутої магнітної силової лінії. МРС дорівнює струму, що створює магнітне поле, і виражається в амперах.

Напруженість магнітного поля. МРС, що приходить на одиницю довжини магнітної силової лінії, називається напруженістю магнітного поля H і виражається в амперах на метр.

Якщо фізичні умови вповдовж усієї довжини l магнітної лінії однакові, то

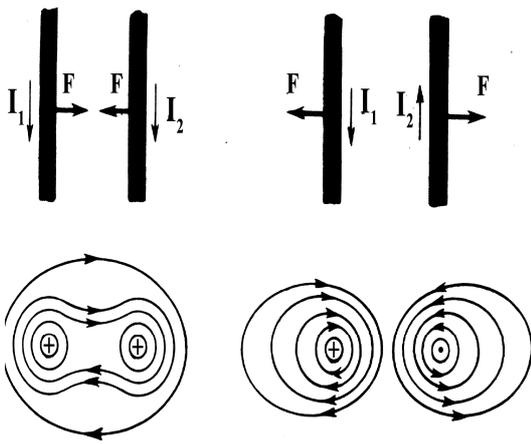
$$H = \Sigma I / l. \quad (3.2)$$

Провідник зі струмом у магнітному полі. Відомо, що на провідник зі струмом у магнітному полі, відповідно «до правила лівої руки» (рис. 3.6), діє електромагнітна сила F , що прагне змістити його в площині, перпендикулярній напрямку вектора. Ця сила тим більша, чим більший струм I у провіднику й індукція магнітного поля B , чим довша активна (що знаходиться в магнітному полі) частина провідника l . Електромагнітну силу визначають за формулою [1,2,5]:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha, \quad (3.3)$$

де α — кут, під яким прямолінійний провідник розташований відносно магнітних силових ліній поля.

У результаті впливу таких механічних сил при однаковому напрямку струму, провідники, що лежать поруч, будуть притягатися один до одного (рис. 13, *а*), при різному напрямку струму — відштовхуватися (рис.3.5, *б*).



а) б)
Рис. 3.5 - Взаємодія двох провідників зі струмом

Особливо великі сили між провідниками виникають в електричних колах при коротких замиканнях.

Явище електромагнітної індукції полягає в тому, що зміна магнітного поля навколо провідника, зв'язана з перетинанням провідника магнітними силовими лініями, викликає появу ЕРС у цьому провіднику.

При цьому байдуже, чи буде змінюватися магнітне поле відносно провідника чи провідник буде переміщатися в магнітному полі. Індукована ЕРС прямо пропорційна індукції B , активній довжині провідника l і швидкості його переміщення в напрямку, що перпендикулярний лініям магнітного поля:

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha, \quad (3.4)$$

де α — кут між напрямками швидкості v і поля. Якщо $\alpha = 90$ (що буває часто), то $e = B \cdot L \cdot v$. Напрямок ЕРС визначають згідно з «правилом правої руки» (рис. 3.6).

Якщо поставити праву руку так, щоб магнітні лінії входили в долоню, а відставлений великий палець вказував напрямок руху провідника, то витягнуті чотири пальці вкажуть напрямок індукованої ЕРС.

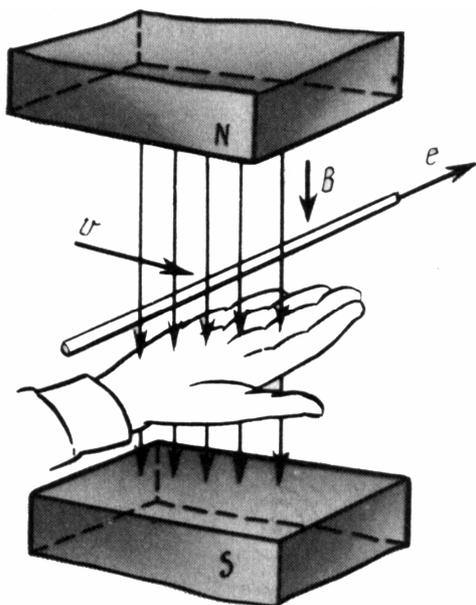


Рис. 3.6 - Визначення напрямку ЕРС - «правило правої руки»

При зміні магнітного потоку, що охоплений замкнутим контуром, у ньому індукується ЕРС

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (3.5)$$

де Δt — проміжок часу, протягом якого потік змінюється на $\Delta\Phi$.

В котушці з w витками

$$e = -w \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (3.6)$$

Електрорушійна сила в (ЕРС) якорі

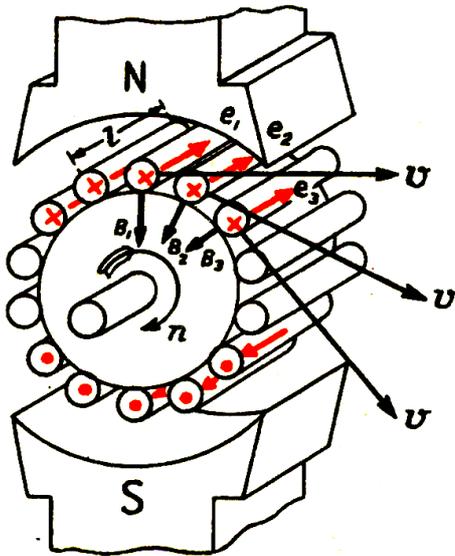
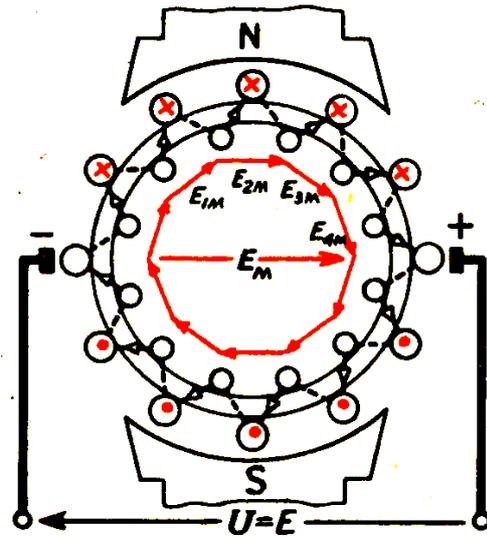


Рис. 3.7 - Наведення змінної ЕРС в провіднику якоря



$$E = \frac{N}{2a} \cdot E_{cp} = \frac{pn}{60a} N\Phi$$

Рис. 3.8 - ЕРС якоря

Знак «мінус» відображає правило Ленца: індукована ЕРС прагне протидіяти причині, яка її викликає.

Самоіндукція. При зміні струму в провіднику, витку або котушці змінюється магнітний потік, створюваний цим струмом. Зміна магнітного потоку індукуює у провіднику (витку, котушці) ЕРС, дія якої за правилом Ленца спрямована на підтримку попереднього стану поля. Таке явище називають самоіндукцією.

Явище самоіндукції в тих або інших провідниках характеризується індуктивністю L .

Індуктивність — це розмірний коефіцієнт пропорційності між швидкістю зміни струму в часі та індукованою при цьому ЕРС:

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}. \quad (3.7)$$

Знак мінус у формулі відбиває правило Ленца.

Одиниця індуктивності - генрі [Гн]. Таку індуктивність має провідник, в якому виникає ЕРС самоіндукції, що дорівнює 1 В, при зміні струму на 1 А за 1 с.

Значення індуктивності L залежить від конструкції елементів кола. Так, для котушки з числом витків ω , з магнітопроводом довжини l , перетину S і магнітною проникністю μ_a

$$L = \frac{\omega^2 S}{l} + \mu_a. \quad (3.8)$$

3.2. Принцип дії асинхронного двигуна

Асинхронні машини, найчастіше, використовують як двигуни. Найбільшого застосування одержали трифазні асинхронні двигуни. Їх застосовують для приводу верстатів, насосів, вентиляторів, вантажопідйомних механізмів і в багатьох інших випадках.

Асинхронні двигуни бувають потужністю від десятків ватів до декількох мегаватів, при напрузі обмотки статора до 10 кВ. Асинхронні двигуни — найбільш розповсюджені на виробництві і в побуті. Принциповим недоліком асинхронних двигунів є труднощі, зв'язані з регулюванням частоти обертання. Крім того, ці двигуни мають відносно низький $\cos\varphi$ (0.85—0.9)-при повному навантаженні; і (0.2—0.3) на холостому ході). Розглянемо будову трифазного асинхронного двигуна (рис. 3.9) [1,2,5].

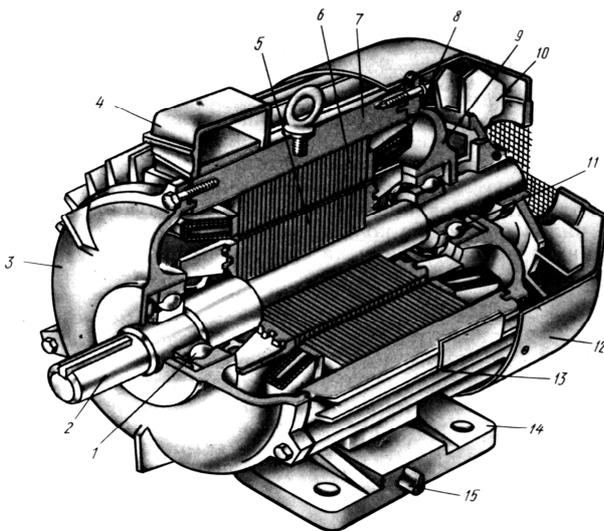


Рис. 3.9 - Будова трифазного асинхронного двигуна.

1, 11 - підшипники, 2 - вал, 3, 9 - підшипникові щити, 4 - коробка виводів, 5 - сердечник ротора, 6 - сердечник статора, 7 - корпус статора, 8 - обмотка статора, 10 - вентилятор, 12 - кожух, 13 - ребра, 14 - лапи, 15 - болт заземлення

Двигун складається з нерухомої (статора) і обертової (ротора) частин. Основними деталями статора є: корпус 7 і сердечник 6 з обмоткою 8. Корпус відливають з алюмінію (для малопотужних двигунів) або з чавуну. Ребра 13 на

зовнішній частині корпуса збільшують площу поверхні охолодження. Сердечник статора зібраний з покритих лаком листів електротехнічної сталі.

Ротор складається із шихтованого сердечника 5 з обмоткою і вала 2. Вал розташований у ротора обертається в підшипниках кочення 1 і 11, підшипникових щитах 3 і 9.

Двигун охолоджують обдуванням зовнішньої поверхні корпуса. Потік повітря створюється відцентровим вентилятором 10, прикритим кожухом 12.

Кінці обмоток статора приєднані до затискачів коробки виводів 4; для кріплення двигуна використовують лапи 14, для заземлення — болт 15.

На внутрішній стороні пустотілого циліндра сердечника статора є пази, в які закладають статорну обмотку. У трифазному двигуні вона трифазна і число її котушок у цьому випадку кратне трьом (3, 6, 9 і т.д.).

У залежності від конструкції обмотки ротора, розрізняють асинхронні двигуни з короткозамкнутим і фазним роторами.

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором найбільш простий, надійний у роботі і дешевий. Обмотку ротора такого двигуна звичайно виконують з алюмінієвих стержнів, які заливають без ізоляції в пази. Одночасно з торців відливають короткозамикаючі кільця з лопатками вентилятора для примусового охолодження.

На рис. 3.10 зображений короткозамкнутий ротор (з розрізом). У потужних машинах ($P_n > 100$ кВт) для роторної обмотки використовують мідні стержні і замикаючі кільця.

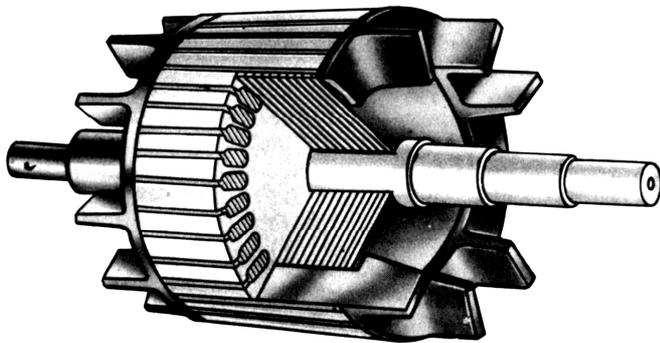


Рис. 3.10 - Короткозамкнутий ротор асинхронного двигуна

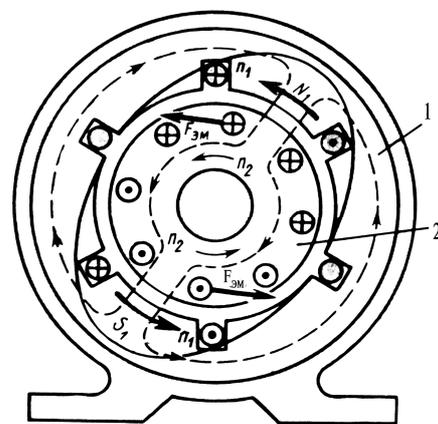


Рис. 3.11 - Принцип дії асинхронного двигуна

У пазах ротора двигуна з фазним ротором укладають обмотку, подібну до обмотки статора. Фазні обмотки ротора з'єднують у «зірку», а три її виводи приєднують до трьох контактних кілець, насаджених на вал і ізольованих одне від одного і від вала. Щітками, накладеними на кільця, обмотка ротора може бути замкнута накоротко або на опір. Двигуни з фазним ротором складніші, дорожчі і менш надійні в експлуатації, ніж з короткозамкнутим, але мають кращі пускові й регульовальні властивості.

Принцип дії - сердечники статора 1 і ротора 2 утворюють магнітне коло асинхронної машини (рис. 3.11).

При проходженні трифазного струму трифазною обмоткою статора створюється обертове магнітне поле частотою [5]

$$n_1 = 60f / p, \quad (3.9)$$

де f — частота живильної мережі; p — число пар полюсів на фазу.

При $f = 50$ Гц для двигунів з числом полюсів обмотки статора $2p = 2, 4, 6, 8, 10$ синхронна частота обертання відповідно дорівнює 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/хв.

Це поле (показане пунктиром) перетинає провідники обмотки ротора і наводить у них ЕРС E_2 . Під дією ЕРС у замкнутій обмотці ротора виникає струм I_2 . На кожен провідник обмотки ротора, який пересікає магнітне поле, діє електромагнітна сила $F_{ем}$. Сили, що діють на всі провідники обмотки ротора, створюють обертовий момент, що захоплює ротор слідом за полем. Ротор двигуна обертається з асинхронною швидкістю n_2 меншою, ніж синхронна швидкість обертання поля n_1 . Різниця швидкості обертання поля і ротора характеризується ковзанням S , яке часто виражають у відсотках [5]:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%. \quad (3.10)$$

У номінальному режимі роботи двигуна ковзання S звичайно невелике (2–6 %). Якщо ротор нерухомий ($n_2 = 0$), то $S = 100$ %.

Наявність різниці швидкості n_1 і n_2 принципово необхідна (у двигуні), тому що тільки при цьому створюється електромагнітний обертаючий момент.

Якщо ковзання відсутнє, то магнітне поле не перетинає провідники ротора; у них не наводиться ЕРС; не виникають струми; не створюється електромагнітний обертовий момент.

Для зміни напрямку обертання ротора, тобто для реверсування двигуна, необхідно змінити напрямок обертання магнітного поля, яке створює обмотка статора.

Цього досягають переключенням двох фаз, тобто двох із трьох проводів, що з'єднують обмотку статора з мережею.

3.3. Принцип дії синхронної машини

Синхронні машини використовують як генератори і як двигуни. Майже всі генератори змінного струму — це синхронні машини. Синхронні двигуни застосовують рідше асинхронних і тільки в тих випадках, коли за заданою потужністю і режимом роботи, вони виявляються більш економічними, ніж асинхронні, або коли потрібен привод з абсолютно жорсткою механічною характеристикою.

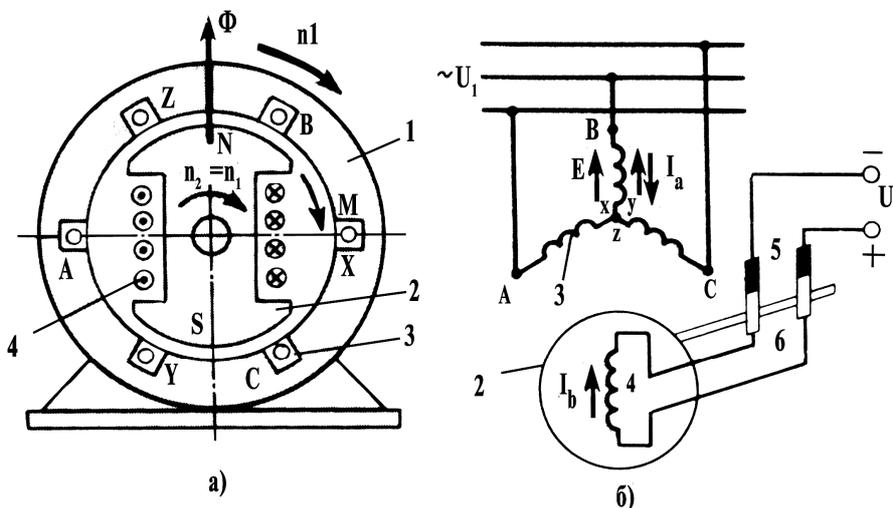


Рис. 3.11. - Електромагнітна схема синхронної машини (а) і схема її ввімкнення (б).
1 – статор, 2 – ротор, 3 – обмотка статора, 4 – обмотка збудження

Будова. Побудова і ввімкнення синхронної машини зображені на рис. 3.11. У пазах статора 1 машини подібно тому, як це зроблено в асинхронному двигуні, покладена трифазна силова обмотка 3. Початки фазних обмоток позначені *A, B, C*; кінці — *X, Y, Z*. На роторі 2 розміщена обмотка збудження 4.

Вона з'єднана через кільця 6 і щітки 5 із джерелом постійного струму. Потужність, що необхідна для збудження, складає (0.3—3) % від номінальної потужності синхронної машини.

Принцип дії синхронного генератора. Постійний магнітний потік, що створюваний струмом ротора, замикається через сталь ротора, повітряні зазори і сердечник статора. Якщо ротор обертається, то створюється обертове магнітне поле. Перетинаючи провідники фазних обмоток статора, це поле наводить у них змінну ЕРС. Частота обертання ротора n_2 підтримується постійною, тому зміна ЕРС у часі визначається тільки розподілом магнітної індукції у довж окружності ротора. Цей розподіл носить *синусоїдальний характер*, тому й у фазних обмотках статора індукуються синусоїдальні ЕРС, що зсунуті за фазою одна щодо одної на одну третину періоду (120 ел. град). Якщо на роторі p пар полюсів, то за один його оберт p раз змінюється ЕРС і частота цієї зміни $f = pn_2/60$. Для одержання частоти 50 Гц двополюсний генератор ($p = 1$) повинен робити 3000 об/хв. При підключенні обмотки статора до трифазного навантаження, струм, який нею протікає, створює обертове магнітне поле з частотою обертання n_1 , що дорівнює частоті обертання ротора n_2 [5].

Сумарне магнітне поле обертається з тією же частотою, з якою обертається ротор. Тому машину називають синхронною.

Магнітне поле струмів статора, нерухоме щодо обертового ротора, взаємодіючи з постійним струмом ротора, створює електромагнітний гальмовий момент M , що повинен бути урівноважений обертаючим моментом первинного двигуна. Чим більше активна складова струму статора I_a , тим більша потужність перетворена в машині, тобто електромагнітна потужність P_{em} генератора:

$$P_{em} = 3EI_a = M\omega, \quad (3.11)$$

де $\omega = 2\pi n_1/60$,

E — ЕРС фази обмотки статора.

Ротор синхронної машини може бути явнополюсним і неявнополюсним (рис. 3.11).

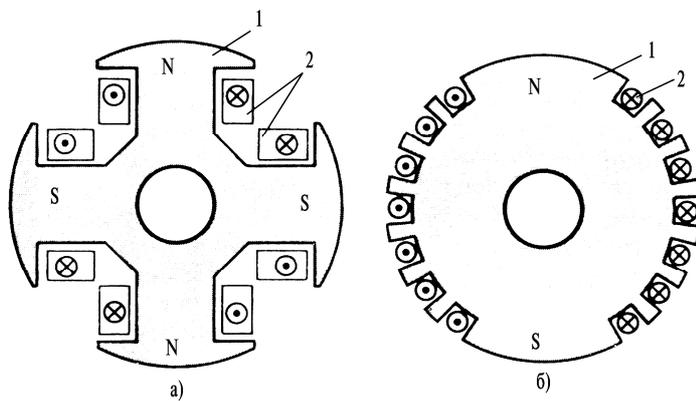


Рис. 3.11- Явнополюсний (а) і неявнополюсний (б) ротори синхронної машини: 1 -сердечник, 2 - обмотка збудження

Явнополюсний ротор (рис. 3.11, а) використовують у машинах з чотирма і більше числом полюсів. Сердечники 1 роблять або масивними зі сталевих поковок, або набирають з листів електротехнічної сталі. Їх кріплять до втулки вала або (при великому числі полюсів) до ободу хрестовини [5].

Обмотки збудження 2 виконують у вигляді циліндричних котушок з полосової міді, які закріплюють на сердечниках полюсів. Основними її елементами є магнітна система і робоча обмотка. Основна задача при конструюванні магнітної системи машини полягає в тім, щоб при мінімальній витраті матеріалів і мінімальній потужності системи порушення створити в двигуні можливо більший магнітний потік. Відповідно до закону Ома для магнітного ланцюга для підвищення магнітного потоку при тій же намагнічуючій силі магніту необхідно зменшити магнітний опір основного магнітного кола, яким проходить робочий магнітний потік. Зменшити магнітний опір можна, або збільшивши габарити машини, або підвищивши магнітну проникність ділянок магнітного кола. У зв'язку з цим, у всіх машинах використовують замкнуту магнітну систему з мінімальними припустимими за умовами роботи повітряними зазорами. Ярмо використовують не тільки як магнітопровід, але і як елемент механічної конструкції, до якої кріплять усі інші елементи. Ярмом проходить постійний магнітний потік; магнітна індукція в ньому невелика через великий перетин. На сердечнику головних полюсів 7 розташована обмотка збудження 8, що створює магнітний потік. На обертовій частині— якорі — знаходиться робоча обмотка. Особливістю якоря в порівнянні з іншими ділянками магнітного ланцюга є те, що він обертається в

магнітному полі, тобто матеріал якоря піддається перемагнічуванню. Для зменшення у тілі якоря втрат, викликаних перемагнічуванням, його сердечник набирають з окремих ізолюваних листів електротехнічної сталі, що має не тільки високу магнітну проникність, але й знижені втрати при перемагнічуванні.

Повітряний зазор між статором і якорем малий за величиною, однак впливає на магнітні й робочі характеристики ТЕД. Магнітна проникність повітря в десятки тисяч разів менша магнітної проникності сталі, з якої виконані інші ділянки магнітного ланцюга. Тому величина повітряного зазору багато в чому визначає потужність системи порушення.

Крім головних полюсів, у ТЕД є додаткові полюси б, що служать для поліпшення роботи щіткового контакту і практично не впливають на робочу характеристику двигуна.

На циліндричній поверхні сердечника якоря виштампувані пази, в які укладають робочу обмотку 10. Вона складається з окремих котушок (секцій, боки яких вкладені в пази). При укладанні секцій у пази, їх ізолюють від стінок паза спеціальною ізоляцією. Кінці секцій приєднують до колекторних пластин у визначеному порядку, що забезпечує створення необхідної схеми обмотки.

У провідниках робочої обмотки ТЕД при русі під полюсами полярності, що чергується, наводяться перемінні ЕРС і протікає змінний струм. У той же час у зовнішньому ланцюзі напруга і струм постійні. Тому необхідний перетворювач, включений між зовнішнім ланцюгом і якірною обмоткою. Роль такого перетворювача виконують колектор 2 і ковзані по ньому контакти (щітки). Вугільно-графітові щітки забезпечують струмознімання з колектора і притискаються до нього спеціальними пружинами.

3.4. Механічна характеристика двигунів

Конструкція сучасного ТЕД постійного струму, що забезпечує високу ефективність і надійність, відпрацьовувалася протягом десятиліть. Основні

досягнення в останніх конструкціях зв'язані із застосуванням нових, більш високоякісних матеріалів, і поліпшенням методу охолодження двигуна.

Принципові схеми двигунів постійного струму з різними видами порушення зображені на рис. 3.12 [2]. Обмотку збудження можна підключати до стороннього джерела електричної енергії (незалежне порушення) чи до робочого ланцюга (самозбудження).

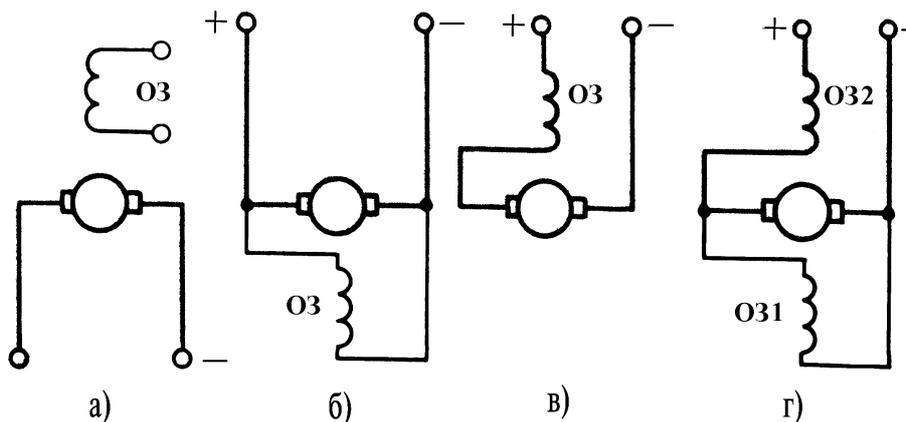


Рис. 3.12 - Електричні схеми ТЭД постійного струму з різними типами порушення: а - незалежним; б - рівнобіжним; в - послідовним; г - змішаним

Важливою властивістю двигунів постійного струму є можливість плавного регулювання частоти обертання в широких межах.

Частота обертання ТЕД [2,8]

$$n = \frac{U}{C_e} - \frac{R_{я}}{C_e^2 \Phi^2} \cdot M, \quad (3.12)$$

де U — напруга на двигуні, В;

C_e — конструктивний коефіцієнт, який постійний для даної машини;

Φ — робочий магнітний потік машини, Вб;

$R_{я}$ — опір якірного ланцюга, Ом;

M — електромагнітний обертовий момент, що відповідає моменту навантаження на валу двигуна, Нм.

Як видно з приведеного вище вираження (3.12), частоту обертання можна регулювати шляхом зміни живильного напруги, величини магнітного потоку (струму порушення) і опору якірного кола. Крім того, двигуни постійного струму забезпечують з відносно простою пускорегулюючою апаратурою високий пусковий момент, що особливо важливо в умовах роботи електричного

транспорту.

При незалежному і рівнобіжному порушенні, магнітний потік слабо залежить від навантаження, а при зміні навантаження швидкість змінюється мало (рис.3.13) [8].

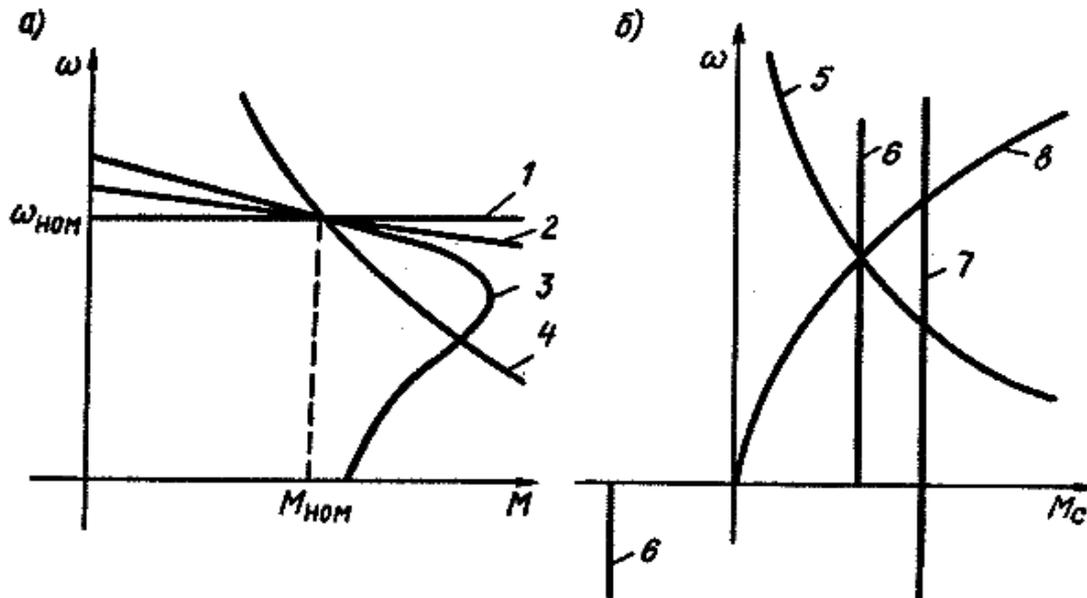


Рис. 3.13 - Механічні характеристики двигуні (а) та їх виконавчих органів (б),
1- синхронного двигуна; 2 - двигуна постійного струму з незалежним збудженням;
3 - асинхронного двигуна; 4 - двигуна постійного струму з послідовним збудженням;
5 - механізму головного двигуна металобробного станка; 6 - транспортера, механізму подачі станка; 7 - під'ємного механізму; 8 - вентилятора, димососа, компресора, та центробіжного насоса.

Механічна характеристика $n = f(M)$ є «твердою». При послідовному порушенні струм якоря є струмом порушення і магнітний потік змінюється зі зміною навантаження. У результаті при зростанні навантаження швидкість двигуна різко падає.

Таку характеристику називають «м'якою». Частота обертання ТЕД різко залежить від моменту на валу. За малих навантажень частота обертання може значно зростати, а на холостому ході може підвищитися настільки, що може призвести до руйнування ТЕП. Ця особливість накладає певні вимоги на з'єднання вала ТЕД із трансмісією.

Якщо момент двигуна з незалежним порушенням пропорційний струм якоря, то момент ТЕД послідовного порушення нелінійно залежить від струму. Магнітний потік за відсутності насичення магнітної системи пропорційний

струму, тоді момент буде пропорційний квадрату струму. Така особливість ТЕП з двигуном послідовного збудження забезпечила його широке вживання на електричному транспорті: трамваях, метрополітені, електровозах. Тяговий електропривод з двигуном змішаного збудження використовують головним чином на тролейбусах.

Для ТЕП ідеальною характеристикою можна вважати характеристику такого ТЕД, який при постійній потужності може створити достатньо великий момент, тобто якщо $P = M \cdot \omega = \text{const}$. Кутова швидкість такого двигуна обернено пропорційна моменту, і рівняння механічної характеристики має вигляд [8]:

$$\omega = \text{const} / M \quad (3.13)$$

Механічна характеристика ТЕД з послідовним збудженням найбільш близька до ідеальної. Такий двигун легше переносить різкі зміни моменту навантаження, що характерні для електричного транспорту, оскільки при збільшенні моменту в K раз споживаний струм і потужність зростає тільки в \sqrt{K} раз.

Двигуни постійного струму ТЕП часто використовують для «електричного» гальмування рухомого складу. У цьому випадку двигун (після відключення напруги) реалізує електричне гальмування руху якоря і відповідно, трансмісії ТЕП. Оскільки гальмування здійснюється електричним шляхом, тому знос не спостерігається і енергію гальмування можна легко і, безпечно відвести у вигляді теплоти (гальмування резистора) або повернути частину цієї енергії в живильну мережу (рекуперативне гальмування).

Щоб одержати гальмування резистора в колі якоря двигуна, який відключений від мережі, вводять резистори. Машина переходить в режим роботи генератора з самозбудженням і запасна механічна енергія перетворюється в підключених резисторах в теплову енергію. Проте таким чином, не вдається довести частоту обертання ТЕД до нуля і тому потрібне додаткове механічне гальмо.

Рекуперативне гальмування можливе лише при частотах обертання, що перевищують частоту обертання в режимі холостого ходу, оскільки напруга генератора мусить перевищувати напругу мережі, якщо струм має поступати назад в тягову мережу.

За характером передачі і конструкції ТЕП підрозділяється на: індивідуальний, груповий і диференціальний.

Схеми основних типів електроприводів наведені на рис. 3.14 – 3.17 [9]: індивідуальний (рис. 3.14) груповий (рис. 3.15) і диференціальний (рис. 3.16) [2]. Останнім часом на автономних транспортних засобах все більшого застосування знаходить привод з осьовим підвішуванням ТЗД (мотор-колесо) (рис. 3.17).

Компактність такого привода досягають за рахунок жорсткого зв'язку ТЕД і редуктора з невіднесеними елементами. Мотор-колісний привод розташовується у внутрішньоободному просторі ведучих коліс, де ТЕД конструктивно з'єднаний з редуктором і гальмівним пристроєм (рис. 3.17).

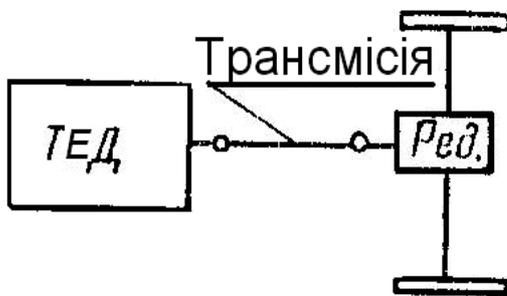


Рис 3.14 - Схема тягового електропривода

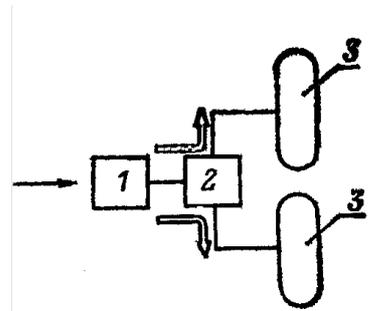


Рис. 3.15 - Структурна схема групового електропривода: 1 - ТЕД; 2 - механічна передача; 3 - рушійні колеса

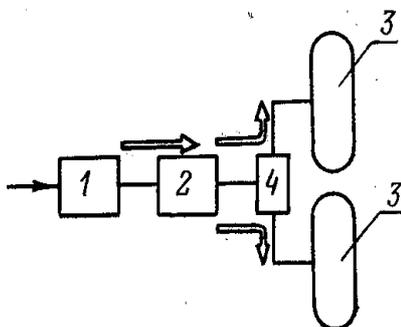


Рис. 3.16 - Структурна схема диференціального тягового електропривода: 1- ТЕД; 2 - редуктор; 3 - колеса; 4 - диференціал

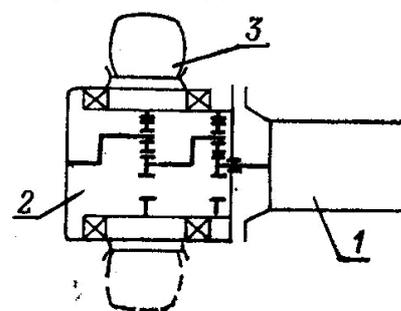


Рис. 3.17 - Структурна схема мотор-колесного тягового привода: 1 - ТЕД; 2 - планетарний редуктор; 3 - колесо

За родом струму, який використовують в ЕРС, електропривод підрозділяють: на електропривод постійного струму, де в якості ТЕД використовують двигун постійного струму та електропривод змінного струму з використанням асинхронного двигуна. У теплоелектричному руховому складі (ТЕРС) може бути електропривод змінно-постійного струму. У даному випадку застосовують генератор змінного струму, а ТЕД — постійного.

За способом одержання електричної енергії, тяговий електропривод під-розділяють на неавтономний (контактний), автономний (з власною енергоустановкою) і змішаний (дизель-контактні локомотиви).

Існує три системи керування тяговим електроприводом: контактнорезисторна, тиристорно-імпульсна і комбінована. Принципова силова схема з пусковими опорами (резисторами) зображена на рис. 3.18.

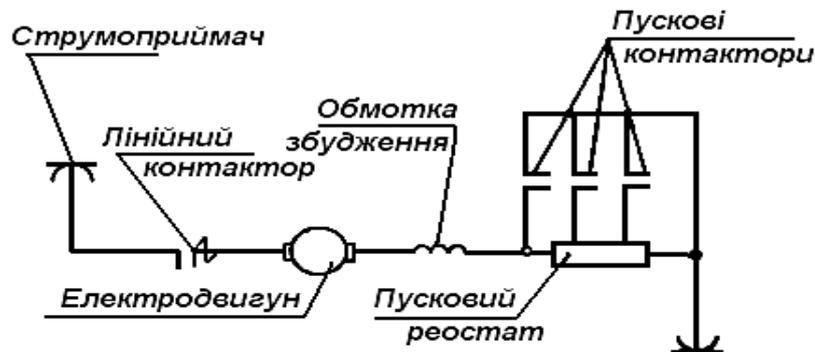


Рис. 3.18 - Принципова силова схема з пусковими опорами

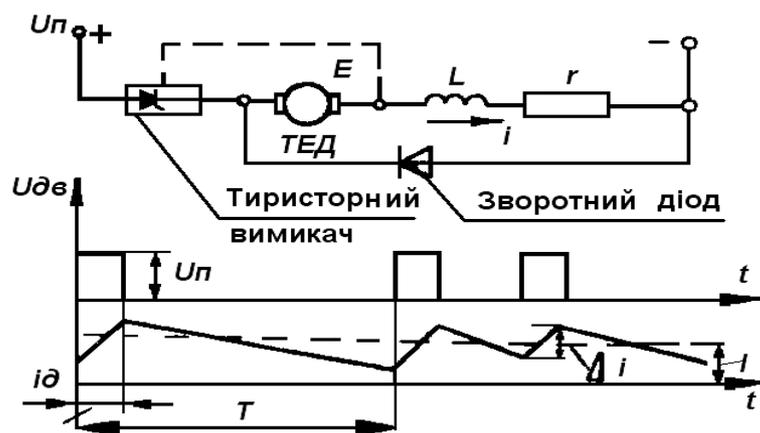


Рис. 3.19 - Схема імпульсного регулювання напруги на ТЕД

Основні недоліки даної схеми — це великі втрати в пускових резисторах, східчасте (стрибокподібне) регулювання струму i , відповідно, сили тяги.

Схема імпульсного регулювання напруги зображена на рис.3.19. Така система дозволяє заощаджувати до (25—30)% електроенергії, яку затрачують на рух ЕРС із частими циклами «пуск — гальмування», що особливо характерне для МЕТ. Широке застосування в ТЕП знайшли двигуни постійного струму, що було виправдано порівняльною простотою регулювання частоти обертання якоря двигуна. Однак останнім часом у зв'язку зі швидким розвитком силової напівпровідникової техніки стало можливим використовувати двигуни змінного струму, що мають значно меншу вартість, велику надійність і менші експлуатаційні витрати.

Основним достоїнством ТЕД змінного струму є відсутність вузла комутації — колектора. ТЕД перемінного струму простий у конструкції і компактніший, ніж ТЕД постійного струму тієї ж потужності. Ця обставина має на наземному міському електричному транспорті особливе значення в зв'язку з тим, що ТЕД розташовують, як правило, під підлогою салону, рівень якого, з погляду зручності пас-сажиरोобмена, має розташовуватися якнайнижче.

Крім того, якщо ТЕД постійного струму встановлюється на рамі ходового візка в якості самостійного елемента, (що є додатковим навантаженням на її конструкцію), то двигун змінного струму може бути виконаний у вигляді конструктивного елемента візка, що дозволяє за рахунок перерозподілу навантажень значно знизити габарити і масу останнього.

Тролейбуси з ТЕД змінного струму знаходяться в дослідній експлуатації в країнах СНД, Німеччини, Фінляндії й інших країн.

Тяговий електропривод з ТЕД змінного струму вимагають складнішу систему управління, що включає перетворювач частоти, що з цієї точки зору дещо знижує надійність ТЕП. Тяговий електропривод з двигунами змінного струму і тиристорно-імпульсної системою управління безумовно перспективний. Широке його застосування на електричному транспорті обумовлюється розвитком електронної промисловості (створення потужних повністю керованих тиристорів, польових транзисторів з необхідними характеристиками, зниженням їх вартості, зменшенням об'єму і маси індуктивностей, місткості і т. д.).

При розгляді перспективної можливості нової техніки (крім технічних аспектів) необхідно брати до уваги й економічні. Це особливо необхідне відносно напівпровідникових приладів, із зростанням різноманітності яких знижується об'єм серійного випуску напівпровідників одного типу, внаслідок чого цей об'єм може виявитися нижче економічно виправданого.

При виборі того або іншого ТЕП до різних видів електричного транспорту необхідно враховувати і аналізувати всі техніко-економічні показники ТЕП.

Так, при аналізі тягового електроприводу, необхідно враховувати первинні витрати на виготовлення, споживання енергії приводу допоміжних агрегатів, зменшення максимальної місткості, наприклад, через вживання акумуляторних батарей (для електромобілів) і та ін.

Оптимізація співвідношень маса/функція для різних вузлів і деталей, вживання легких і міцних матеріалів, оптимізація конструювання всього екіпажа забезпечує зменшення маси на (10—25)% без підвищення вартості

виготовлення рухомого складу і приводить до зниження енергоспоживання. Тільки зниження опору качання на 10% відповідає скороченню енергоспоживання на (2—4) %. Потенційно можливо зменшити втрати енергії в трансмісії на (10—30) %.

На рис. 3.20 наведені різні маси тягових приводів (ліві колонки) і споживання енергії на екіпаж (праві колонки) для різних видів приводів безрейкового транспорту [9]. Як видно з рис. 3.20, тяговий електропривод тролейбуса з рекуперацією енергії гальмування має якнайкращі показники за масою приводу і менше питоме споживання енергії — 1,12 кВт·год/км.

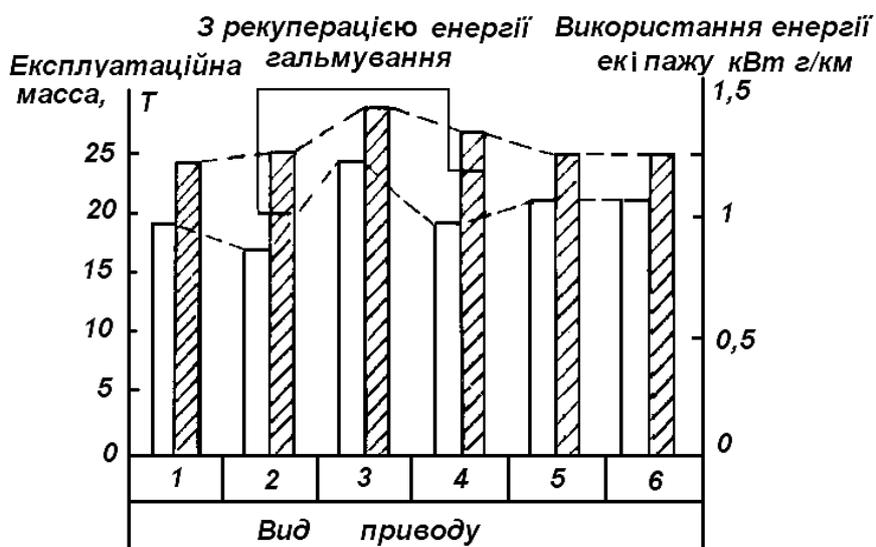


Рис. 3.20 - Експлуатаційна маса і споживання енергії зчленованого рухомого складу з різними видами тягового електроприводу:

1 - автобус з дизельним двигуном; 2 - тролейбус; 3 - електробус з акумуляторними батареями; 4- тролейбус з додатковим дизельним двигуном (дуобус); 5 - автобус з дизель-генераторною установкою (теплоелектробус); 6 - електробус з акумуляторними батареями і заряджанням від контактного проводу

Контрольні питання до розділу 3

1. Основне призначення ТЕП.
2. Основні елементи ТЕП.
3. Основні вимоги до ТЕП.
4. Принцип дії двигуна постійного струму.
5. Поняття «магнітна індукція» та «магнітний потік».
6. Що означає «правило правої руки» ?
7. Принцип дії асинхронного двигуна.
8. Принцип дії синхронної машини.
9. Механічна характеристика двигунів.

РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ

У цьому розділі проведений аналіз сучасного транспорту (який використовують в сучасних містах), його основні параметри, достоїнства і недоліки. Пасажирський транспорт можна умовно розділити на персональний і суспільний. Кожний вид транспорту має свої достоїнства і недоліки, але головним загальним недоліком стає низька швидкість пересування (5-10) км/год, небезпека і шкідливість транспорту для самих же пасажирів.

4.1. Персональний транспорт

4.1.1. Автомобіль

Автомобіль - основний міський транспорт самий небезпечний і екологічно забруднений (рис. 4.1). Не дивлячись на свої сумнівні транспортні властивості користується популярністю за чинниками, що історично склалися.



Рис. 4.1 – Легковий автомобіль

Його достоїнства: комфортність, ізольована кабіна, якісна обробка просторого салону. Але весь комфорт може бути зведений нанівець необхідністю тривалого водіння транспорту в умовах міста, попаданнями в «пробки», несправністю двигуна і звичайно ж-ДТП гнучкість (тільки в містах не насичених транспортом, наприклад рано вранці, за містом). В містах парковка автомобіля може виявитися доступною за сотні і тисячі метрів від кінцевого пункту, на подолання

яких, пішки доведеться затрачувати десятки хвилин свого часу.

Недоліки: Небезпека для життя і здоров'я. Необхідність ручного управління автотранспортом, непередбачуваність доріг створює підвищену небезпеку всім учасникам руху.

Управління вручну в досвідчених водіїв і самовпевнених людей створює ілюзію контролю ситуації на дорозі, але часто аварія виникає з причин незалежних від водіїв (наприклад, помилки інших учасників руху, помилки технічного обслуговуючого персоналу, або непередбачувані несправності машини, дорожнього полотна, випадкові предмети на дорогах і т.п.). Фактично це означає, що за кожні дві хвилини тільки в Російській Федерації трапляється мінімум одно ДТП з постраждалими, при цьому вірогідність смерті одного з пасажирів 10%. Або, сідаючи за кермо, вірогідність постраждати в ДТП можна оцінити як 1 / 10 000 для кожної години їзди, для однієї години зовсім небагато, але таких небезпечних годин рік за роком нагромаджуються тисячі. Ще гірше йде справа в тих країнах, де нормою вважають агресивний стиль водіння.

Основні "достоїнства" автомобілів, що заявляються і задекларовані виробниками: потужність, місткість, вантажопідйомність несумісні з безпекою, розгін за 10 секунд, з нуля до 100 км/год це означає, що, за декілька секунд, цей автомобіль стане смертельно небезпечним для всіх учасників руху. Максимальна швидкість будь-якого сучасного автомобіля близько 200 км/год, що аналогічно, абсолютно не говорить щодо безпеки, при такій швидкості руху, аварія матиме найважчі наслідки.

Повільність в умовах міста. Щорічне зростання інтенсивності руху в цілому по Україні складає порядку (10-20)%, в той же час розвиток мережі автодоріг збільшується тільки на 5 відсотків. Враховуючи цю обставину, середня швидкість руху автомобілів в містах складає (20-40) км/годину, а в часи «пік» — (5- 10) км/година». Середня швидкість руху автомобіля в центрі Лондона складає 2,9 милі за годину або 4,65 км/годину. А на найскладніших ділянках доріг середня швидкість падає і зовсім до 1,6 милі за годину (2,56 км/годину). Тут необхідно відзначити, що дане дослідження швидкісного автомобільного потоку

проводилося в Лондоні влітку, коли значна частина місцевих жителів була у відпустках. Сьогодні ситуація значно гірша.

Для того, щоб значно скоротити кількість транспорту в столиці Японії Токіо, введена оплата за проїзд вулицями міста. В Токіо на даний час зареєстровано 4,21 млн. автомобілів, і в результаті простою в «пробках» втрачається до \$40 млн. через розбещений час і паливо. Передбачається, що середня швидкість руху автомобілів містом складатиме 20 км/годину, повідомляють зарубіжні ЗМІ.

Швидкості при сучасній енергоозброєності автомобілів просто мізерні, це ніяк не швидкості ХХІ століття. Швидкості руху в 103 км/ч електромобілям була доступна ще у 1899 році, а в 1910р. рекорд швидкості автомобіля вже складав 212 км/год. Пройшло 100 років, покорений ближній космос, освоєні нанотехнології, атомна енергетика, а середня швидкість переміщення пасажирів не набагато вища, ніж у пасажирів 19-го століття, швидкість в 103 км/год в умовах міста недосяжна, середня швидкість близько до 10,3 км/год. В кращому разі це швидкість мотоболосипедиста, з його "двигуном" еквівалентним 0.5 к.с., різниця ж в ефективності – к.к.д. просто на два порядки.

При цьому, якщо враховувати затримку на пошук парковки, і віддаленість парковки від кінцевого пункту призначення, середня швидкість водія автомобіля "від дверей до дверей" буде ще нижчою. Треба відмітити, що багатогодинні поїздки самі по собі не такі шкідливі; по суті втрата декількох годин в день це не тільки абстрактне зниження продуктивності праці, але і абсолютно непотрібне перевантаження на організм людини. Восьмигодинний робочий день не враховує додаткового часу на дорогу. Замість відпочинку людина даремно витрачає сили на транспорт. Особливо це актуальне сьогодні, коли вільного часу у людини практично немає.

Якщо врахувати, що середня тривалість життя людини 60 років, з яких значна частина витрачена на навчання (15-20 років), на роботу (8 годин в день), сон (8 годин в день), побутові потреби (2-3 години в день). З "вільного" часу, що залишився, велика частина йде саме на дорогу (1-2 години в день). Зі

згаданим часом спливає і потенційна можливість зміцнити своє здоров'я, зайнятися підвищенням професійного рівня - сучасні технології цьому просто зобов'язують.

Таким чином, транспорт виявляється вузьким місцем для розвитку всіх, особливо високотехнологічних галузей промисловості, і та країна, яка першою розв'яже цю проблему може виявитися лідером XXI століття. Транспорту, безумовно, надають багато уваги, але результати цього невисокі у всіх країнах.

Крім того, через зношеність автодоріг практично повністю паралізується рух в мегаполісах і на під'їздах до великих міст (рис.4.2.). «Вже сьогодні стан автомобільних доріг – один з основних чинників гальмування економічного зростання», – цитує РІА «Новини».



Рис. 4.2 – Затори та «пробки» на автошляхах

Але всі зусилля більшості країн світу спрямовують на екстенсивний розвиток транспортної системи, не дивлячись на те, що такий метод розвитку є тупиковим. Набагато дорожчі і якісніші дороги європейських і американських міст не вирішують проблему з транспортом.

В пробках народжуються і вмирають люди. В пробках простоюють офіціантки дешевих забігайлівок і президенти транснаціональних корпорацій. Пробки вилучають з американського ВВП мільярди доларів у вигляді вимушу-

них спізень і простою вантажів і службового автопарку. Загалом, якщо Америці і судиться загинути, то причиною її загибелі стане не горезвісний Усама бен Ладен і навіть не гігантський метеорит, а саме пробки.

Вартість дорожньої інфраструктури. Не дивлячись на те, що ціни на автотранспорт невисокі, витрати на підтримку дорожньої інфраструктури лягають важким тягарем на економіку, підвищуються податки, тим самим пригнічуючі економічне зростання, підвищується ціна на нерухомість, вартість навчання і т.п. В Росії укладання одного квадратного метра дорожнього полотна коштує \$10 - \$15, середній термін експлуатації полотна від одного до трьох років. Окремі дороги обходяться ще дорожче. Крім того, щорічно зростає об'єм коштів на утримання доріг:

4.1.2. Мототранспорт

Мотоцикли, скутери або моноцикли, можуть частково розв'язати проблему з транспортом (рис. 4.3). Але в умовах України вони практично неприйнятні. Двоколійний транспорт більше популярний в країнах, де на рік 9 місяців - літо, а не 9 місяців зими, як в наших північних регіонах.

Крім того, специфічні вимоги до навиків керування двоколійним транспортом, малі швидкості і мала місткість роблять мототранспорт непридатним для широкого його використання.



Рис. 4.3 – Загальний вигляд сучасного скутера

Переваги скутерів над звичайним автотранспортом:

- гнучкість, маневреність. За рахунок менших габаритів при русі займають всього половину автомобільної смуги. Мала вага 40-50 кг, дозволяє розвернути ТЗ безпосередньо практично на місці. Крім того, для водіння скутерів немає необхідності в отриманні прав водія.
- екологічність. Мала потужність двигуна (всього 5-7 к.с.) дозволяє економніше використовувати паливо; при виробництві легких мотоциклів йде на порядок менше ресурсів, ніж на виробництво одного автомобіля.

Недоліки:

- небезпека життю і здоров'ю, перш за все, для самого водія, трохи менше - для решти учасників руху, оскільки водіння двоколісних ТЗ вимагає специфічних навиків водіння.
- некомфортність ТЗ для водія і пасажира, особливо в холодну пору року, незахищеність від опадів, шуму, сильна вібрація корпусу.

4.1.3 Персональний авіатранспорт

Персональні літаки не можна назвати скільки-небудь поширеним видом транспорту (рис. 4.4). Викликано це (перш за все) їх ціною, необхідністю кваліфікованого обслуговування і значного місця під злітно-посадочні смуги.

Недорогі літаки цілком доступні для покупки, їх ціна для відкритих надлегких апаратів \$20-60 тис., що порівнюється з ціною звичайного автомобіля. Але використання літаків як ТЗ, особливо в умовах міста – неможливе, оскільки, геометричні розміри мінімум 10×20м, необхідність вільної злітно-посадочної траси 200м, відсутність багатоповерхових будівель по ходу руху. Не дивлячись на це, в США офіційно зареєстровано 160 тис. приватних літаків. Майже 94% (150 тис.) - це спортивні і пасажирські літаки так званого «small in small» класу.

Але як транспорт використання приватних літаків практично неможливе через їх небезпеку для життя пасажирів. На відміну від авіалайнерів, приватні літаки обслуговуються і управляються менш кваліфікованим персоналом, менш надійні технічно і більше залежать від погодних умов.



Рис. 4.4 – Загальний вигляд сучасного персонального літака

4.1.4. Вертольоти

Надлегкі вертольоти за вартістю в кілька разів вище літаків аналогічної вантажопідйомності, але на відміну від них не вимагають сотень метрів злітної смуги, для зльоту і посадки достатньо декількох десятків метрів посадочного майданчика, який може бути розташовано на даху будівлі рис. 4.5.



Рис. 4.5 – Загальний вигляд сучасного персонального вертольота

Так само як і літаки, для польотів вимагають гарної погоди, при масовому вживанні числа злітно-посадочних майданчиків буде недостатньо, зросте небезпека зіткнення у повітрі.

Таким чином, надлегкі літальні апарати залишаються застосовними тільки для розважальних цілей.

Достоїнства:

- швидкість пересування в повітрі 100 км/год;
- можливість переміщатися по прямій в пункт призначення;
- нескладність і дешевизна постійних пристроїв посадочних майданчиків).

Недоліки:

- низька провізна здатність ліній (500-600 пас/година);
- висока собівартість пасажироперевезень (приблизно в 10 разів вище, ніж на автобусі);
- великий шум при зльоті і посадці;
- небезпека для пасажирів, необхідність в досвідчених фахівцях (пілот, механік). Відмова двигуна у польоті неминуче призведе до аварії з найважчими наслідками, не тільки для пасажирів;
- необхідність в критому ангарі; ізольованому злітно-посадочному майданчику, де була б гарантована відсутність перешкоди для посадки;
- екологічні забруднення: при виробництві і експлуатації ТЗ, за рахунок значного споживання палива, при менш отруйних композиційних матеріалах, рідкоземельних, труднодоступних металів;
- залежність від погодних умов. Сильний вітер, сніг, гроза, град або навіть дощ, високі або низькі температури різко підвищують вірогідність аварії.

4.2. Інший транспорт

4.2.1. *Велосипед*

Не дивлячись на те що середня швидкість велосипедиста не вища за 30 км/год, в умовах міста велосипед може виявитися ефективнішим за будь-який вид транспорту, особливо при невеликих дистанціях до 15-20 км (рис. 4.6.).

Крім того, не дивлячись на простоту конструкції, ціна якісних велосипедів складає до \$1000, а для їх виготовлення застосовують достатньо дорогі метали і технології їх обробки, наприклад, порожнисті титанові і алюмінієві рами змінного перетину, завдяки яким вага велосипеда може досягати (10-13) кг.

Не дивлячись на це, в країнах з невідповідним кліматом велосипед не набув поширення і використовується як спортивний інвентар, переважно для відпочинку і тренувань.



а)

б)

Рис. 4.6 – Велосипеди у місті: а) міські велоперегони – ; б) велопарковка –

Переваги:

- екологічна безпека, користь для здоров'я. Велосипед з аксесуарами, навіть якщо це професійна титанова рама вагою в (10-20) кг вимагає для виробництва незначного числа матеріалів, енерговитрат, негативна дія на природу мінімальна. Для переміщення використовується мускульна сила велосипедиста в середньому від 100 Вт до 500 Вт залежно від рівня підготовки, це при тому що в стані спокою людина розсіює 60 Вт тепла, а для нормальної життєдіяльності організму фізичні навантаження просто необхідні. Таким чином виходить, що велосипед допомагає використовувати ту енергію організму, яка просто спалювалася б на тренуваннях, тренажерах і транспорт одночасно. Звичайно, такий подвійний ефект досяжний тільки за певних умов, маршрут в межах 30 км, (не міський і тим

більше не "дорожній"), чисте повітря робота що не вимагає фізичних навантажень;

- гнучкість, швидкість при пересуванні на невелику відстань в умовах міста, велосипед взагалі не має аналогів, велосипедист цілком здатний вбудуватися в потік транспорту на проїжджій частині, при виникненні «пробок» переходити на тротуари, переїзжати дорогу на «зелене» світло з машинами або пішоходами. Залишити велосипед можна практично в будь-якому місці, навіть там, де немає вільного простору, наприклад, просто підвісивши велосипед на стіну.

Недоліки:

- При недотриманні ТБ і недосвідченості водія можливі нещасні випадки, оскільки небезпека велосипеда часто недооцінюється. Особливо недосвідченими велосипедистами, що їздять без шолома. Часто відбуваються нещасні випадки (особливо небезпечний екстремальний велоспорт) і необережна їзда, плюс до цього для людей зайнятих фізичними навантаженнями протягом дня; навантаження під час поїздок непотрібні абсолютно. Велосипед не захищає від опадів і дорожнього бруду, в осінньо-зимовий період дороги для велосипеда стають практично недоступними, оскільки дорога спільна з автомобілями.

4.2.2. Кінний транспорт

Згаданий вище вид транспорту, який був основним уподовж тисячоліть, використовують і зараз, як правило, в розважальних цілях (рис. 4.7).



Рис. 4.7 – Загальний вигляд кінних екіпажів початок XXI століття

Можна акцентувати на його перевагах:

- "природний" інтелект, який на сьогодні день недоступний ніякій техніці, здатність самостійно орієнтуватися і ухвалювати рішення;
- надійність, невибагливість (свої особливості, тільки в "природних", південних умовах);
- екологічність (треба відзначити-не повна; бактерії, що паразитують в кишечнику жуйних тварин виділяють парниковий метан; тварин не можна "вимкнути", а значить їх постійно треба годувати, витрачаючи орієнтовно по 200 Вт енергії у вигляді органічної їжі на їх вміст, виснажуючи тим самим ґрунт при великій кількості тварин);
- безпека (не повна, поведінка коней часто просто непередбачувана): удар копитом - це серйозна проблема. Він може бути навіть з літальним результатом. А ще до цього-скупчення тварин-схильні до небезпечних захворювань.

4.2.3. Піша ходьба

Не дивлячись на весь перерахований транспорт, пішки людина, як десятки тисяч років тому, проходить щодня значні відстані, незалежно від транспорту, що використовується, від парковки або зупинки до дверей офісу або квартири, втрати часу можуть складати від 30 до 90 хвилин на день (рис .4.8).



Рис. 4.8 – Прогулянка пішки

Традиція проводити День без автомобілів (World Day Without Car) народилася в 1998 році у Франції. Тоді цей день відзначили всього близько двох десятків міст. Зате вже до 2001 року до руху офіційно приєдналися більше тисячі міст в 35 країнах світу.

Користь для здоров'я від таких вправ (у відмінності, наприклад, від бігу в парку), сумнівна, оскільки, звичайно, використовують невідповідне "офісне" взуття, одяг; людина дихає отруєним автомобілями повітрям, а втрати часу - непоправні. Парадоксально, але піші "прогулянки" крадуть саме той час, який міг би бути витрачене на активний відпочинок, зміцнення здоров'я.

4.3. Громадський транспорт

Не дивлячись на широке розповсюдження громадського транспорту, суспільний транспорт володіє масою недоліків:

- необхідність очікування транспортних засобів пасажирями;
- уповільнення пересування через часті зупинки транспорту; форма маршруту далека від прямої лінії ;
- віддаленість зупинок від кінцевого пункту призначення;
- негнучкість транспорту; обмежене число маршрутів і зупинок;
- необхідність обліку розкладу руху транспортних засобів;
- необхідність в пересадках на декілька маршрутів руху;
- тільки через тісні умови пересування в громадському транспорті стає можливим розповсюдження епідемій, заразних, інфекційних хвороб, значна частина з яких взагалі невиліковна;
- на відміну від офісів, квартир, в громадському транспорті збираються абсолютно випадкові люди, уникнути контакту з якими майже неможливо;
- некомфортні умови для пасажирів, (особливо при перевантаженні ТЗ в «часи пік»).

До переваг громадського транспорту можна віднести:

- ціну за перевезення (пасажир не купує ТЗ, а платить тільки за перевезення); оренду ТЗ, яка при великому потоці пасажирів незначна;

- пасажиром немає необхідності в технічному обслуговуванні, охороні ТЗ;
- під час поїздки пасажир вільний від керування ТЗ;
- безпека поїздки ТЗ полягає у тому, що ним управляє професійний водій, який проводить за кермом весь свій робочий час; на безпеці пасажирів також позначаються габарити транспорту і низька швидкість руху.

4.3.1. Автобуси



Рис. 4.9 – Загальний вигляд сучасного автобуса

Автобуси - найпоширеніший вид міського громадського транспорту (рис. 4.9). Для роботи в міських умовах автобуси, як правило, випускають з кузовами вагонного типу, що мають біля вхідних і вихідних дверей накопичувальні майданчики.

Найшкідливішими і небезпечними в міських умовах є мікроавтобуси, маршрутні таксі (рис. 4.10), що блокують хаотичним рухом зупинки і з метою економії часу ігнорують правила дорожнього руху (ПДР), пасажир їздить стоячи, що при ДТП наслідки виявляються найтяжчими (рис. 4.11).



Рис. 4.10 – Міське маршрутне таксі



Рис. 4.11 – ДТП за участю маршрутних таксі

У котрий раз комерційні перевізники довели, що користуватися їх послугами ризиковано.

Потенційна можливість постраждати в ДТП, будучи пасажиром комерційного автобуса, значно вища, ніж пасажиром муніципального.

Причина цього - відсутність у комерсантів необхідної інфраструктури для технічного обслуговування рухомого складу і контролю над процесом перевезень, а також прорахунки в кадровій політиці (переваги і недоліки дивись вище).

4.3.2. Залізничний транспорт

Залізничний транспорт зародився на початку ХІХ в. (хоча перші колійні дороги існували ще в Стародавньому Римі). На сьогодні більше 1 млн. км залізниць опоясують земну кулю (рис. 4.12).



Рис. 4.12 – Залізниця ХХІ століття

Залізничний транспорт є - самий дешевий, екологічно чистий і швидкісний вид наземного транспорту.

Обмежує його конкурентування: ціна прокладки залізничної колії, негнучкість в експлуатації.

У сучасних умовах прокладка 1 км двоколійної залізниці з інфраструктурою коштує \$(3-5) млн., пасажирський вагон - \$1 млн.

Обсяг земляних робіт на спорудженні залізниці складає близько 50 тис. м³/км, при цьому землевідведення – близько 5 га/км (а з інфраструктурою - до 10 га/км. Середня швидкість не перевищує 100 км/год (хоча на швидкісних лініях «Москва – Санкт – Петербург» - понад 200 км/год).

Найзручніший і комфортніший вид транспорту для транспортування великого числа пасажирів на відстані до 1000 км і промислових вантажів на необмежену відстань (час перевозки для них не так суттєвий), допускає найвищий рівень автоматизації; простота конструкції робить його надійним і безпечним.

Проте надшвидкісні потяги вже не так надійні, навіть залежать від погоди. До недоліків можна віднести і те що собівартість і навантаження на природу підвищує будівництво мостів, естакад, тунелів і та інше. До забруднень додаються: шум, вібрація, теплові й електромагнітні випромінювання. За рік на 1 км залізничного полотна викидається до 12 т сміття і 250 кг фекалій. Щорічно в Росії під колесами потягів гинуть близько 1 тис. людей і мільйони тварин.

4.3.3. Тролейбуси

Тролейбус - це вид міського безрейкового транспорту (рис. 4.13). Механічне устаткування тролейбуса складається з:

- шасі з силовою передачею, ресорною підвіскою, переднім і заднім мостом і рульовим управлінням;
- кузова;
- гальмівного устаткування з механічним і пневматичним приводом.

Кузови тролейбусів будують суцільнометалевими вагонного типу. Планування салону тролейбуса повинне передбачати необхідне число місць для сидіння при відстані між сидіннями не менше 735 мм.



Рис. 4.13 – Загальний вигляд міського тролейбуса

Тролейбуси використовують на внутрішньоміських (іноді і на вилетних) лініях, що мають пасажиропотоки середньої потужності. Як швидкісний вид транспорту - їх використовують рідко.

Місткість рухомого складу тролейбусного транспорту знаходиться в межах від 65 до 90 пасажирів, зелено-ваного тролейбуса - до 140 пасажирів.

Тролейбуси за основними експлуатаційними показниками небагато чим відрізняються від автобусів, проте для їх руху потрібен пристрій тягових підстанцій і устаткування ліній двохрановідною контактною мережею.

За маневреністю тролейбуси поступаються автобусам, що особливо відчутно в умовах старих міст з вулицями недостатньої ширини. Провізна

здатність звичайної тролейбусної і автобусної лінії майже однакова - близько 5000 пас/годин в одному напрямі. Для підвищення провізної здатності тролейбусної лінії застосовують більш ємкий пересувний склад (двоповерхові і зчленовані машини).

При плануванні тролейбусної мережі прагнуть скоротити до мінімуму число перетинів ліній між собою і лініями трамвая, оскільки перетини і повітряні стрілки знижують швидкість руху тролейбуса, а іноді викликають його зупинку через зіскакування струмоприймача. За умов надійного струмознімання траси тролейбусних ліній прокладають тільки вулицями з удосконаленим покриттям.

Основна перевага тролейбуса перед трамваєм та, що «висадку – посадку» пасажирів здійснюють безпосередньо з тротуару, а також в можливості його відхилення від осі контактного проводу до 4,2 м. Тому вузькі вулиці, що непридатні для руху трамвая, можуть обслуговувати тролейбуси. Незважаючи на те, що тролейбуси не забруднюють безпосередньо міське повітря, вони споживають електроенергію, і що ще актуальніше - створюють пробки на дорогах, оскільки електродвигуни володіють дещо іншою динамікою в порівнянні з ДВЗ, довжина струмознімача обмежує можливості маневру і знижує надійність ТЗ. Незаземлений корпус взагалі викликає сумніви в електробезпеці цього виду транспорту, при тому, що корпус тролейбуса при порушенні ізоляції може знаходитися під напругою 550 В (тролейбуси експлуатують на відкритому повітрі з високою вологістю). В загальному випадку пасажиру з метою безпеки рекомендується: покидати вагон, що знаходиться під напругою, треба стрибком, щоб уникнути удару струмом в стані, якщо він, стоячи однією ногою на сходинці, іншою торкається землі.

Затор на дорогах, який можуть створити тролейбуси, зводить до нуля всі його екологічні переваги, оскільки автомобілі у момент простою не вимикають двигуни, вимушені зупинятися, знижувати швидкість, що в результаті призводить до ще більшого забруднення повітря в містах.

Є експериментальні моделі тролейбусів з автономним джерелом енергії,

відгуки про них поки що тільки позитивні.

Так на Садовому кільці (м. Москви) працює перший низькопольний тролейбус «Садко». Але родзинкою "Садко" є можливість об'їжджати неправильно припарковані автомобілі, аварії і пробки: запас автономного ходу без живлення від контактної мережі складає до 2,5 км. Вартість тролейбуса істотно відрізняється від вартості зарубіжних моделей. Московський тролейбус на 30 % дешевший за іноземні аналоги, і, на думку інженерів і водіїв, зручніший в експлуатації. У разі аварії, обриву проводів або серйозної пробки, тролейбус може проїхати відстань до 3 км без живлення контактної мережі за рахунок накопичувачів місткостей електроенергії, які заряджають майже миттєво (за 6-8 хвилин).

4.3.4. Трамвай

Трамвайний транспорт - це міська наземна електрична залізниця. Трамваї з'явилися у 80-х рр. XIX століття. Трамвай - це вагон або декілька вагонів (найчастіше моторні) (рис. 4.14.)



Рис. 4. 14 - Трамвайний вагон з асинхронним двигуном. ХКП «Міськелектротранс», м.Харків

Живлення здійснюється постійним струмом напругою 600 В, звичайно через контактну підвісну мережу (зворотний провід - рейки). На сьогодні широко впроваджуються трамваї з асинхронними двигунами (рис. 4.14). Велика провізна спроможність трамвая і низька собівартість пасажироперевезень забезпечує збереження за ним тієї ролі, яку відіграє у ряді середніх і великих міст. Трамвайні лінії будують на периферії міст для зв'язку великих промислових районів з житловими. Крім того, трамвай обслуговує пункти концентрації пасажирських потоків (вокзали, стадіони та інші).

Провізна здатність трамвайної лінії при експлуатації потягів, що

вміщують (200-230) пасажирів, сягає (12-14) тис. пас/год.

Трамвайні вагони можуть експлуатуватися як поодиночі, так і поїздами (2-3) вагони. Трамвайні лінії мають вищу вартість устаткування, ніж автобусні або тролейбусні. Тому мережа трамвайних ліній характеризується відносно меншою згущеністю, ніж мережа автобусів і тролейбусів.

Трамвайні лінії на сьогодні проектують переважно двоколійними з центральним (по відношенню до осі вулиці) або бічним розташуванням колії. На периферійних лініях з невеликими пасажиропотоками будують одноколійні лінії з роз'їздами через кожні (0,5-2) км.

Вилетні трамвайні лінії планують в тому випадку, якщо автобус не забезпечує перевезень на даному напрямі і потреба в перевезеннях не може бути задоволена існуючою лінією електричної залізниці, а також, якщо необхідно забезпечити безпересадковий трамвайний зв'язок міста з передмістям.

Не дивлячись на переваги трамвая перед іншими видами транспорту, його питома вага в перевезеннях знижується. Це пояснюється тим, що інтенсивний автомобільний рух в містах робить скрутним спільну експлуатацію трамваїв і автомобілів на вузьких міських вулицях.

Зосередження пасажирів на зупинках трамвая, що розташовані на середині проїжджої частини вулиць, примушує безрейковий транспорт зупинятися або знижувати швидкість. Крім того, наявність трамвайної лінії знижує можливість обгону. Таким чином, загальна ефективність експлуатації автомобільного транспорту знижується. Через це відбувається своєрідний процес переміщення трамвайного руху з центральних районів старих міст в периферійні, де інтенсивність руху значно нижча.

Усунення трамвая з магістральних вулиць покращує умови руху для транспорту в цілому і підвищує його безпеку. Проте зняття трамвайної колії повинне супроводжуватися або перенесенням їх на паралельні дублюючі напрями, або спорудою лінії метрополітену на напрями з великими пасажиропотоками. Іноді ліквідація трамвайної лінії може компенсуватися покращенням умов роботи тролейбусного і автобусного транспорту.

Трамвай в основному експлуатують в містах з населенням більше 1 млн. жителів. Там він володіє вищим КПД і динамічними характеристиками в порівнянні з тролейбусами, простіший в обслуговуванні, але його маневреність набагато нижча.

Найбільшої ефективності досягають там, де лінії трамвая не перетинають проїжджої частини автомобільних доріг. Як повідомляли РІА "Новини" в ГУП "Мосгортранс" середня експлуатаційна швидкість трамвая складає нині близько 15 кілометрів на годину через інтенсивність руху і часті зупинки електричного транспорту.

В умовах міста, через свою конструкцію, трамвай може руйнуюче впливати на металеві конструкції:

Провівши ретельні дослідження, вчені склали схему районів столиці, що враховує геологічні особливості територій і розташування основних джерел блукаючих струмів. Залежно від інтенсивності електрокорозії на ній вказані площі трьох ступенів небезпеки. Ділянки з високим ступенем небезпеки розташовані, як правило, поряд з лініями електрифікованих залізниць і трамваїв. Ширина їх коливається від десятків метрів до 2-3 кілометрів. На окремих їх ділянках густина струму досягає такої величини, що швидкість електрокорозії складає 4-5 мм на рік, уже через декілька місяців після початку експлуатації, виводячи з ладу труби тепло- і водопостачання.

4.3.5. Метрополітен

Метрополітен є підземним електричним транспортом з відмінною високою провізною здатністю, що забезпечує швидке, безпечне і комфортне сполучення (рис. 4.15.) Метрополітени підрозділяють: на підземні, надземні і наземні.

Підземні метрополітени можуть бути глибокого або мілкового залягання. Наземні метрополітени влаштовують тільки на відособленому, ізольованому полотні, в різних рівнях з перетином інших транспортних ліній і вулиць. Траси надземних метрополітенів проходять естакадою.



Рис. 4.15 – Станція метро «Історичний музей», м. Харків

Станції метрополітену складаються з наземних павільйонів, підземних пасажирських вестибюлів з платформами для посадки і висадки пасажирів і сходин, що пов'язують наземні павільйони з підземними платформами. Спуск і підйом пасажирів на станціях глибокого залягання здійснюється рухомими сходами - ескалаторами, пропускна спроможність яких – (10-12) тис. пасажирів за 1 годину.

За капіталовкладеннями метрополітен є найдорожчим видом транспорту, і тому його будують тільки в найбільших містах з населенням більше 1 млн. жителів на напрямках з великими і стійкими пасажиропотоками і з середньою дальністю поїздки пасажирів не менше 5 км.

Практика показує, що метрополітен найбільш зручний для пасажирів, що здійснюють поїздки великої дальності. Володіє високою пропускною спроможністю (провізна спроможність метрополітену може досягати (40-50) тис. пас/год.), але вимагає величезних капітальних витрат на будівництво; складний в обслуговуванні, має низький ККД, що наближає його щодо затрат енергії для перевезення одного пасажирів до автомобільного транспорту. Отже екологічно шкідливий. (забруднюється не повітря міст, а навколишнє середовище від атомних або теплових електростанцій). Енергія витрачається на пересування потягів, вентиляцію протяжних тунелів, освітлення, ескалатори.

Середня швидкість пересування, з урахуванням часу очікування потягу, частими проміжними зупинками, пересадками, втратами часу на спуск і підйом ескалатором, виходить мізерною - близько 40 км/год.; з урахуванням часу очікування, пересадок і використання ескалаторів - ще нижче.

Комфортність якнайменша зі всіх видів транспорту, високий рівень шуму, вогкість, протяги і переважна, не естетична підземна обстановка в тунелях. Але не дивлячись на все це, у великих містах альтернативи метрополітену просто

немає. Наприклад, жоден вид транспорту не зможе перевозити до 10 мільйонів пасажирів щодоби, коли резерву для збільшення кількості наземного транспорту, через перевантаженість транспортної системи (особливо автомобільного), вже немає.

4.3.6. Авіація

Авіацію використовують тільки для міжміського і міжнародного сполучень. При подорожі на невеликі відстані, (наприклад, у сусіднє місто) можуть виникати затримки через віддаленість аеропорту від міста. Особливо актуальне це для міст з населенням понад мільйон чоловік, коли на подолання останніх десятків кілометрів може потрібно часу більше, ніж, власне, на сам переліт. І розплата за швидкість польоту, і складність обслуговування літака - висока витрата палива і висока вартість перевезень (рис. 4.16.)



Рис. 4.16 – Загальний вигляд літака

Небезпека авіаперельотів відома, але істотно перебільшена ЗМІ, (швидше за все через вигляд сцен авіакатастроф). А за статистикою самим небезпечним видом транспорту залишається автомобіль. Набагато більш небезпечно проїхати той же маршрут автомобілем, ніж авіатранспортом.

Небезпечної гідності авіатранспорту відноситься його естетичність, можливість для пасажирів дістати унікальні враження від польоту, побачити незабутні краєвиди.

Ще один вид авіації – дирижаблі (рис. 4.17), або як їх ще називають, "кораблі стратосфери", були популярним видом транспорту ще у XVIII-XIX ст. Сучасні

люди віддають перевагу літакам, але хто знає, чи не повернуться назад симпатії народу, враховуючи останні повітряні катастрофи, про відгомін яких вболіває весь світ? За дирижаблями було минуле, - і за ними ж, швидше за все - майбутнє.



Рис. 4.17 – Сучасні вантажо-пасажирські дирижаблі

Це специфічний транспорт, не набув широкого поширення, вероятно через серію катастроф на початку ХХ, коли не було ні відповідних конструкційних матеріалів, ні методів розрахунку ферм, конструкцій складної форми. Його гідність - мінімальні витрати на підтримку апарату в повітрі, за рахунок його густини - нижча густина повітря. Інші недоліки - гігантські об'єми літального апарату (тисячі кубометрів), як наслідок - низька міцність навіть при жорсткому корпусі, високий аеродинамічний опір, висока парусність, залежність від погоди (особливо від сили вітру).

Аеродинамічний опір розраховують за формулею:

$$Q = c_x \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (5.1)$$

де: Q — повний аеродинамічний опір;

ρ — масова густина повітря, т;

V — швидкість польоту, км/год;

S — площа найбільшого поперечного перетину м².

Площа поперечного перетину біля дирижаблів на порядок вища, ніж біля літаків; як видно із зазначеною вище формули, це пропорційно збільшує опір і енерговитрати. Через це високі швидкості дирижаблям неприступні, і для їх переміщення необхідна значна витрата енергії, рушійні установки потужністю до мегават (к.к.д. "повітряних" рушійних установок достатньо низький).

Питомі витрати знижуються із збільшенням об'ємів дирижаблів; можливо найбільш раціонально їх використовувати для переміщення промислових вантажів із значною масою на великі відстані.

Матеріали щодо дирижаблів: не акцентуються на недоліки, особливо витрати енергії для швидкісних дирижаблів, реально дирижаблів, або економічний або швидкісний (немає технічних подробиць).

4.3.7. Потяги на магнітній подушці; монорельсова дорога

Зазначені вище в заголовку не можуть розцінюватися як повноцінний транспортний засіб (рис. 4.18), не володіє гнучкістю навіть залізничного транспорту (стрілки і сама залізниця дуже складні технічно).



Рис. 4 18 - Потяги на магнітній подушці, монорельсова дорога

Наприклад, експлуатація залізничної вітки в Шанхаї. Будівництво залізниці довжиною 30 км зажадало вкладення в об'ємі \$1 мільярда. Роботи велися німецькими компаніями Siemens і ThyssenKrupp. Потяг на магнітній подушці може розвивати швидкість до 430 км/год (середня швидкість, з урахуванням зупинок і часом очікування буде істотно нижчою). Не виправдав надій шанхайський потяг на магнітній "подушці", що курсує 30-кілометровою трасою між центром Шанхаю і аеропортом.

Ні елегантна зовнішність, ні швидкість літака - до 430 км/год - не змогли завоювати довіри пасажирів: останні не бажають викладати за проїзд в один кінець 75 юанів (майже \$10) і продовжують користуватися автобусами і таксі. Отже унікальна магістраль, що побудована німецьким консорціумом більш ніж за мільярд доларів, зазнає серйозних збитків.

У Німеччині також був затверджений проект будівництва магістралі Transrapid: як очікується, лінія з'єднає Дюссельдорф і Дортмунд. Як цього і слід було чекати, будівництво дороги потребує величезних капіталовкладень. За попередніми підрахунками ця цифра складає 1,75 мільярда євро: з них 23 мільйони - надасть Вестфалія, а 560 мільйонів - приватні інвестори.

З урахуванням величезних енерговитрат, незручності використання, колосальної шкоди, заподіяної навколишньому середовищу і т.п. можна зробити висновок: потяги на магнітній подушці не мають ніяких перспектив, окрім використання в якості розважального атракціону, при подорожах на невеликі відстані (наприклад, в парках). Окремі випадки будівництва коротких ділянок залізниці, свідчать тільки про те, що найзабезпеченіші країни випробовують усі способи, бажаючи створити найефективнішу транспортну систему.

Основна перевага монорельсової дороги полягає в тому, що вона, як і метрополітен, не займає місце на переобтяжених магістралях міста:

– Монорельсовий состав може долати крутіші вертикальні ухили в порівнянні з будь-яким іншим дворейковим транспортом (витрачаючи при цьому більше енергії на тертя в гумових, крихких роликах). В порівнянні з трамваями і поїздами, монорельс набагато тихіший (і повільніший).

Недоліки:

- Монорельсова стрілка — громіздка складна споруда, час перекладу монорельсової стрілки — 30 с., на відміну від звичних стрілок, які переводяться миттєво.
- В холодних країнах в зимовий час в салоні (і на зупинках) знаходиться пасажиром некомфортно; за суворих погодних умов гумові ролики швидко виходять з ладу, не забезпечують необхідного зачіпляю чого.
- Потенційно існує загроза падіння составу з великої висоти, особливо біля підвісних потягів.
- Низькі транспортні можливості, низька швидкість пересування, висока вартість будівництва.

Як наслідок, монорельсовий транспорт застосовують переважно у сфері розваг, як екскурсійний транспорт, у тому числі і монорельсова дорога в м. Москві.

4.3.8. Конвеєрний транспорт

Самі по собі пасажирські конвеєри не є швидкісним транспортом у зв'язку з їх тихохідністю, обумовленою безпекою посадки і висадки пасажирів.

Пасажирські конвеєри поділяються на чотири основні типи:

- ескалатори (рис. 4.19, а), що є східчастими похилими пасажирськими конвеєрами;
- рухомі тротуари (рис. 4.19, б) - пластинчасті або стрічкові пасажирські конвеєри, горизонтального, спірального або похилого типу;
- конвеєри крісел — це горизонтальні або похилі рухомі тротуари зі встановленими на них пасажирським кріслами;
- кабінні рухомі тротуари - горизонтальні або похилі пасажирські конвеєри зі встановленими на них кабінами, обладнаними місцями для сидіння.



а)



б)

Рис. 4. 19 - Конвеєрний транспорт: а - ескалатор; б - рухомий тротуар

Відносно малі швидкості обмежують використання звичних видів конвеєрного транспорту як основні засоби міських сполучень, проте швидкісний конвеєрний транспорт новітніх конструкцій розширює сферу вживання пасажирських конвеєрів в містах.

4.3.9. Водний транспорт

Водний транспорт ділиться на річний (рис. 4.20, а) і морській (рис. 4.20, б).

Річний транспорт здійснює перевезення пасажирів і вантажів водними шляхами - природним (річки, озера) і штучним (канали, водосховища).



а)

б)

Рис. 4.20 – Транспорт: а - річний, б - морський

Виділяють:

- магістральні річкові шляхи, що обслуговують зовнішньоторговельні перевезення декількох держав;
- міжрайонні, які обслуговують перевезення між крупними районами всередині країни;
- місцеві, що обслуговують внутрірайонні зв'язки.

Загальна протяжність річкових транспортних артерій світу складала на 1990 рік - близько 550 тис. км.

Морський транспорт - це вид водного транспорту, що здійснює перевезення вантажів і пасажирів за допомогою великотоннажних суден океанами, морями і морськими каналами.

Морський транспорт ділять на каботажний (перевезення між портами однієї країни) і міжнародний дальнього плавання.

Пасажирські перевезення морським транспортом майже витиснені повітряним транспортом і збереглися, головним чином, як рекреаційні круїзи.

4.4 Особливості міського електричного транспорту

За своїми екологічними і техніко-економічними показниками, найбільш перспективним видом міського транспорту – є електричний транспорт, що забезпечує:

- необхідну частоту і регулярність руху на лінії;

- високу швидкість сполучень і достатню провізну здатність;
- високу надійність і безпеку руху;
- надання максимуму зручностей для пасажирів за мінімальної вартості перевезень;
- гарну маневреність і високі тягово-динамічні властивості як при відособлених шляхових пристроях, так і при роботі в загальному транспортному потоці;
- мінімальний шум, який створює рухомий склад.

Основними видами громадського електричного транспорту, що застосовують в умовах сучасного міста, є трамвай, тролейбус, метрополітен і швидкісний трамвай.

В окремих випадках у нашій країні та в закордонній практиці знаходять застосування й інші види міського електричного транспорту: монорельсові дороги, теплоелектричний і електромобільний транспорт, транспортні системи безупинної дії (рухомі тротуари і кабінні невпинні системи й інші.).

Міський електричний транспорт може бути класифікований за типом шляхових пристроїв, способом постачання енергією і призначенням [3].

За типом шляхових пристроїв електричний транспорт може бути розділений на три види:

- транспорт без спеціальних шляхових пристроїв (безрейковий);
- транспорт із спеціальними шляховими пристроями;
- комбінований.

До першого виду транспорту відносять: тролейбуси, троллейвози, електромобілі, теплоелектробуси і та ін.

Найпоширенішим спеціальним шляховим пристроєм для міського електротранспорту другого вигляду є рейковий шлях, що призначений для руху рухомого складу, обладнаного сталевими колесами (рейковий транспорт). До цього ж вигляду можуть бути віднесені і менш поширені в даний час засоби транспорту з шляховими пристроями у вигляді балок різного перетину, лотків і т.д. (монорельсовий транспорт, спеціальні види рухомого складу

метрополітену, бірельсові дороги, фунікулери і та ін.).

Пересувний склад другого вигляду спирається на шляхові пристрої пневматичними або сталевими колесами, обладується одночасно і тими, і іншими або може не мати ходових коліс (транспорт на повітряній або магнітній подушці).

Комбінований транспорт поєднує в собі елементи рухомого складу першого і другого видів.

Залежно від способу постачання енергією розрізняють три типи електричного рухомого складу:

- контактний з централізованим живленням тягових електродвигунів енергією від контактної мережі через спеціальні ковзний струмоприймач (трамвай, тролейбус, метрополітен і т.д.); при цьому контактна мережа підключається до тягових підстанцій, що одержують живлення через кабельні лінії, трансформаторні тягові підстанції від електричних станцій.
- в окремих випадках енергопостачання рухомого складу може бути безконтактним (наприклад, струмами високої частоти через спеціальну кабельну мережу, що прокладається під дорожнім покриттям);
- автономний з живленням тягових двигунів від джерел струму, що розташовані на найрухомішому складі, —електродинамічних генераторах, наприклад, акумуляторів, паливних елементів і т.д. (електробус, електромобілі), або двигуно-генераторних силових установках (тепло електробуси) ;
- комбінований з живленням електродвигунів енергією як від контактної мережі, так і від власних джерел струму: електрохімічних (контактні електробуси) або двигуно-генераторних установок (контактні теплоелектробуси, дуобуси).

За призначенням пересувний склад міського електричного транспорту підрозділяють: на пасажирський, вантажний і спеціальний, що призначений для огляду і ремонту контактної мережі або шляхових пристроїв, для використання як вимірювальні пересувні лабораторії, майстерні і т.д.

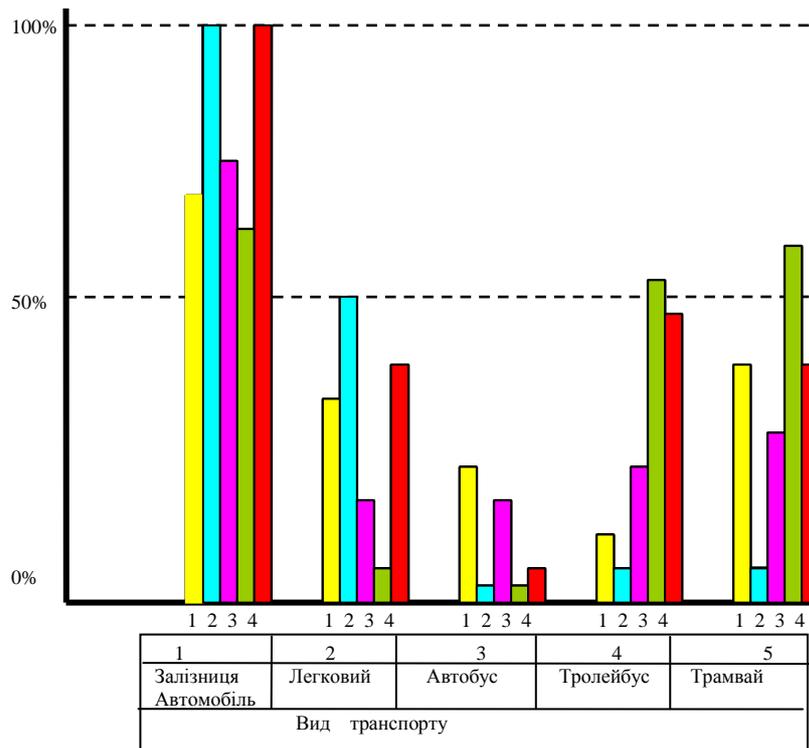


Рис. 4.22 - Екологічна діаграма оцінки видів транспорту:

1 - споживання енергії; 2 - забруднення атмосфери; 3 - площа, яку використовують для руху; 4 - шум; 5 - дорожньо-транспортні пригоди (ДТП)

Тенденція розвитку конструкції, системи управління рухомим складом з тиристорно-імпульсною системою регулювання з одного боку, і зростання цін на бензин та інші нафтопродукти, з іншого - зсуюють енергетичну ефективність видів транспорту в бік електричного.

При виборі виду транспорту під час проектування лінії міського або приміського сполучення необхідно враховувати не тільки енергоємність і економічність, але і чинники охорони навколишнього середовища. На рис. 4.22 зображена діаграма дії різних видів транспорту на оточуюче середовище.

4.4.1. Коротка характеристика міського електричного транспорту

Трамвай — первісток міського електричного транспорту, характерною рисою руху якого є рух рейковою колією.

Завдяки перешкодам руху і відсутності маневреності середня швидкість звичайного трамвая (навіть за дуже сприятливих умов) складає не більше 18 км/год.

Трамвай (у порівнянні з тролейбусом) має менший опір руху і, отже, меншу витрату енергії на рух. Собівартість пасажироперевезень трамваем, як правило, нижча, ніж в автобусі й тролейбусі.

До недоліків в експлуатації трамвая відносять: низьку маневреність,

створюваний ним шум підчас руху, високі первісні витрати на капітальне будівництво, порушення благоустрою вулиць при ремонті трамвайних шляхів і та ін. Застосування рейок (як зворотний провід) викликає виникнення струмів витоку (блукаючих струмів), що руйнівню діють на підземні металеві спорудження.

За кількістю осей рухомий склад трамвая підрозділяють: на двохосьовий, чотири - й багатовісний (шарнірно зчленований), що може мати до дванадцяти осей.

Сформовані трамвайні потяги можуть бути: одно - й багатовагонні. Одновагонні трамвайні потяги складаються з моторного вагона на (60—100) пасажирів, шарнірно зчленованого типу - місткістю від 220 до 330 пасажирів.

Застосування потягів зчленованого типу дає можливість збільшити пропускну здатність ліній, скоротити кількість водіїв і знизити експлуатаційні витрати.

Тролейбус у порівнянні з іншими видами масового міського електричного транспорту має маневреність, тому що може відхилятися в боки від лінії контактної мережі на відстань до 4,5 м.

Тролейбус має трохи більшу швидкість сполучення, що в сприятливих умовах може скласти до 19 км/год. За останні 25 років парк троллейбусів у нашій країні виріс майже в 5 разів і складає 26,1 тис. одиниць. За цей же час більше ніж у 5 разів збільшилася довжина троллейбусних ліній і більш ніж у 3 рази зросло число пасажирів, яких перевезли цим видом транспорту.

Істотною перевагою троллейбуса (в порівнянні з іншими видами транспорту) є його безшумність під час при руху.

За джерела споживання електричної енергії троллейбус підрозділяють на:

- електробус з акумуляторними батареями;
- троллейбус з додатковим дизельним двигуном (дуобус);
- автобус з дизель-генераторною установкою (теплоелектробус);
- електробус з акумуляторними батареями і зарядженням від контактного проводу.

За умовами струмознімання троллейбус експлуатується тільки на вулицях з удосконаленим покриттям, для яких допускаються ухили і підйоми, що не перевищують 9%.

Провізна спроможність троллейбусного транспорту складає від 4000 до

10000 пасажирів за годину, а при використанні рухомого складу зчленованого типу збільшується до (12000—14000) пасажирів у годину. Тому тролейбусний транспорт використовують переважно на внутріміських перевезеннях з пасажиропотоками середньої величини.

До недоліків тролейбуса варто віднести меншу провізну спроможність і більш високу питому витрату електроенергії, а також більш складні умови струмознімання в порівнянні з трамваєм. Але на відміну від трамвая дводротова система електропостачання тролейбуса не робить шкідливого впливу на підземні спорудження в порівнянні з трамваєм.

Метрополітен — надійний і зручний вид пасажирського транспорту. Його послугами щодня користаються більш 11 млн. чоловік у містах нашої країни: Києві, Харкові та Дніпропетровську. Тільки один Київській метрополітен у години «пік» перевозить більш 57% жителів міста. У минулому році метрополітени України перевезли більше 4 млрд. пасажирів.

Метрополітен — складне інженерне спорудження. Тунелі й станції, вестибюлі й ескалатори, електрорухомий склад і зворотні пристрої, тягові і знижувальні підстанції, пристрої автоматики і телемеханіки, вентиляційні і санітарно-технічні установки утворюють єдиний органічно зв'язаний транспортний комплекс, що здійснює безупинний перевізний процес. Провізна спроможність метрополітену може досягати (45000—55000) пасажирів за годину. Високі швидкості сполучення метрополітену (до 40—50 км/ч) забезпечують швидке і надійне перевезення пасажирів на значні відстані. Ці якості дозволяють вважати метрополітен одним з найбільше перевозоздатним з видів транспорту.

Контрольні запитання до розділу 4

1. Перерахуйте види персонального транспорту.
2. Інший транспорт.
3. Громадський транспорт.
4. Загальна характеристика електричного транспорту.
5. Види електротранспорту за типом шляхового господарства.
6. Види електротранспорту за способом електропостачання.

РОЗДІЛ 5. СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ І ТЯГОВІ ПІДСТАНЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Історія показує, що до кінця XIX століття електропостачання електричного транспорту було засновано на постійному струмі.

У 1874 р. російський військовий інженер Ф. А. Пироцький здійснив передачу електричної енергії спочатку на 200 м, а потім до 1 км на артилерійському полігоні поблизу Петербурга. Було відомо, що втрати в лінії прямо пропорційні її питомому опору і обернено пропорційні квадрату напруги. Ф.А. Пироцький пішов шляхом зменшення опору лінії, запропонувавши для зниження втрат використовувати залізничні рейки, перетин яких у 600 разів перевищував перетин звичного телеграфного дроту. Для експериментального підтвердження своїх розрахунків Ф. А. Пироцький використовував рейки недіючої вітки Сестрорецької залізниці завдовжки близько 3,5 км. Електричну енергію передавали від невеликого генератора по двох ізольованих рейках на відстань до 1 км,[7].

Проте у той час прогресивні почини Ф. А. Пироцького не одержали належного визнання. Але ідея щодо використання рейок для передачі електричної енергії пізніше була використана в електропостачанні трамвая. Досліди Ф. А. Пироцького з трамвайним вагоном на ділянці електропостачання 80 м поклали початок подальшому розповсюдженню електропостачання в електричній тязі.

З'явилися залізниці на Берлінській промисловій виставці завдовжки 820 м, на ділянці Берлін - Ліхтенфельд (близько 1,2 км) і та ін.

Труднощі, що пов'язані з передачею електричної енергії на постійному струмі, спрямували думки учених і інженерів на використання змінного струму. Вирішальну роль в знятті цих труднощів у вирішенні проблеми електропередачі змінного струму зіграло створення трифазної системи змінного струму. Перша електропередача, що мала напругу 7500—8500 В і передаючу потужність більше 100 кВт на відстань 170 км, була здійснена за ідеєю і при активній особистій участі видатного російського електротехніка М.О.Доліво-

Добровольського, якого по праву вважають основоположником техніки трифазних систем взагалі і зокрема трифазних повітряних електропередач. Вслід за цією першою передачею з'явилися нові, біля яких з кожним роком зростали напруги, потужності й протяжність. Це були вже електропередачі змінного струму - прообраз сучасних електропередач. Підвищення параметрів таких передач на кожному новому етапі розвитку ставило перед ученими й інженерами все більш складні науково-технічні проблеми.

Проте основна ідея - використання струму провідності і її технічне втілення у вигляді трифазної повітряної передачі з 1891 р. і донині залишається незмінною: це все ті ж опори, ізолятори і всі ті ж три дроти трифазної лінії.

Отже, ланцюжок багатьох стадій розвитку повітряних ліній електропередачі, що йде через сторіччя, зберігаючи основні принципові риси свого прообразу, приходять в наш технічний нинішній час і майбутнє, викликаючи до життя багато нових проблем.

Так, збільшення напруги передачі, яка для повітряних ліній є засобом підвищення їх пропускної спроможності, вимагає збільшення простору, що відводиться під ці споруди. Висота опор досягає висоти десятиповерхового будинку; під смуги відчуження, які вже займають десятки тисяч квадратних кілометрів, треба відводити все більше і більше землі. Вплив зростаючого електричного поля, що збільшується разом з напругою лінії, не дивлячись на зростання її габаритів, поза сумнівом істотне, оскільки воно в сотні раз перевищить природне поле планети.

Проте не дивлячись на всі нові рішення, що змінюють кількісні можливості електропередачі, вона якісно залишається все тією ж, яка використовує в своїй основі струм провідності, для здійснення якого необхідні металеві дроти. Вона (можна стверджувати це), залишиться такою на весь осяжний період. Можна при цьому стверджувати, що як би не розвивалася далі енергетика, необхідність в передачі великих кількостей енергії на відстані залишиться.

Дослідження показують, що принципово можливі інші способи передачі електроенергії (наприклад, використовуючи високочастотні коливання, хвиле-

води, струми конвенції, потоки плазми). При цьому розглядають можливість передачі енергії як за допомогою хвилеводів, так і безпосередньо через простір. Особливий інтерес представляє для електропостачання транспорту другий спосіб, оскільки він не вимагає капітальних витрат на повітряну тягову мережу і наділяє пересувний склад більшою маневреністю. На сьогодні здійснена експериментальна передача енергії цим способом на невелику відстань з повним ККД передачі близько 40%. Проте ці передачі не зможуть до початку майбутнього століття витіснити традиційну електропередачу.

Напруга могутніх турбогенераторів сучасних електростанцій з технічних причин не перевищує 25...30 кВ. Тому при потужності турбогенераторів, що дорівнює сотням мегават, величина струму досягає десятки тисяч ампер. Передача таких струмів на великі відстані практично неможлива, оскільки для цього потрібно було б провід дуже великих перетинів, крім того, втрати енергії при передачі, пропорційні квадрату струму, також були б вельми значними. Тому із зростанням потужностей напруги ЛЕП повинні підвищуватися. Типові напруги ЛЕП складають 10, 220, 330, 500, 750 кВ і вибираються залежно від передатної потужності і довжини лінії. Розподільні мережі мають напруги 110, 35, 10, 6 кВ; останні два значення використовують як вхідні напруги тягових підстанцій міського електричного транспорту.

Для економічного ефективного використання устаткування і енергетичних ресурсів району електростанції об'єднують в енергосистеми. Це також збільшує надійність електропостачання споживачів, оскільки при перевантаженні або аварії на одній електростанції споживачів не відключають, а подають електроенергію від інших станцій.

Система електропостачання СЕП електричного транспорту складна інженерна споруда, до якої входить: тягова мережа, підстанції, диспетчерські пункти, пристрої автоматики, регулювання руху і та ін.

Для приведення в дію електричного рухомого складу (ЕРС) до тягової мережі підводять електричну енергію постійного або змінного струму. В поняття «тягова мережа» входять: контактна мережа (провід), від якої за

допомогою струмоприймачів здійснюють живлення ЕРС, і кабельна мережа, що складаються з позитивних і негативних живильних ліній.

СЕП включає сукупність взаємозв'язаних елементів, що необхідні для виробництва, перетворення, передачі, розподілу і споживання електроенергії. Принципова схема електропостачання електрорухомого складу (ЕРС) зображена на рис. 5.1.

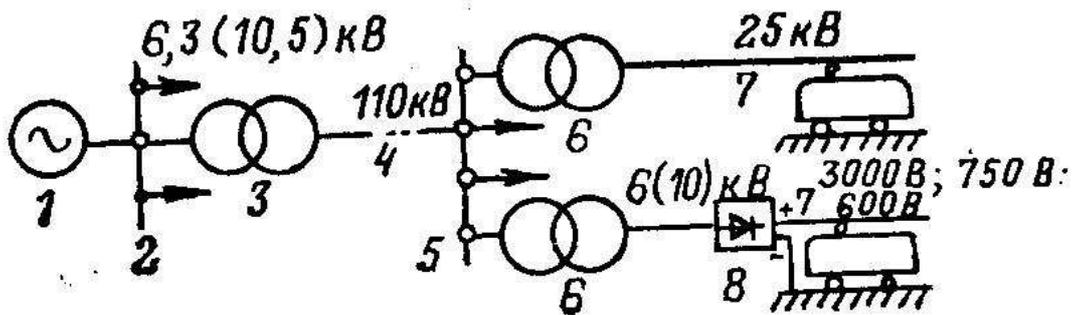


Рис. 5.1. - Принципова схема електропостачання ЕРС:
 1 - електричний генератор; 2, 5 - розподільні пристрої; 3 - що підвищує трансформатор;
 4 - лінія електропередачі; 6- знижувальний трансформатор; 7 - контактна мережа;
 8 - перетворювальна тягова підстанція

ЕРС одержує електроенергію безпосередньо від тягових підстанцій через тягові мережі.

Тягові підстанції бувають змінного і постійного струму.

Тягові підстанції постійного струму служать для перетворення трифазного змінного струму в постійний, необхідної напруги.

Тягові ж підстанції змінного струму є звичними трансформаторними підстанціями з вихідною напругою (наприклад, 27,5 кВ).

Структурна схема тягової підстанції МЕТ наведена на рис. 5.2.

Планування одноагрегатної тягової підстанції МЕТ зображено на рис. 5.3. Живлення тягових підстанцій електроенергією проводять повітряними або кабельними лініями 6 або 10 кВ. Потім напруга поступає через основне і резервне введення в розподільний пристрій високої напруги.

Останній служить для прийому і розподілу електроенергії. Цей пристрій складається: із збірних шин, високовольтних вимикачів змінного струму, оперативних допоміжних і захисних автоматичних апаратів вимірювальних приладів. До розподільного пристрою через високовольтні вимикачі приєднані

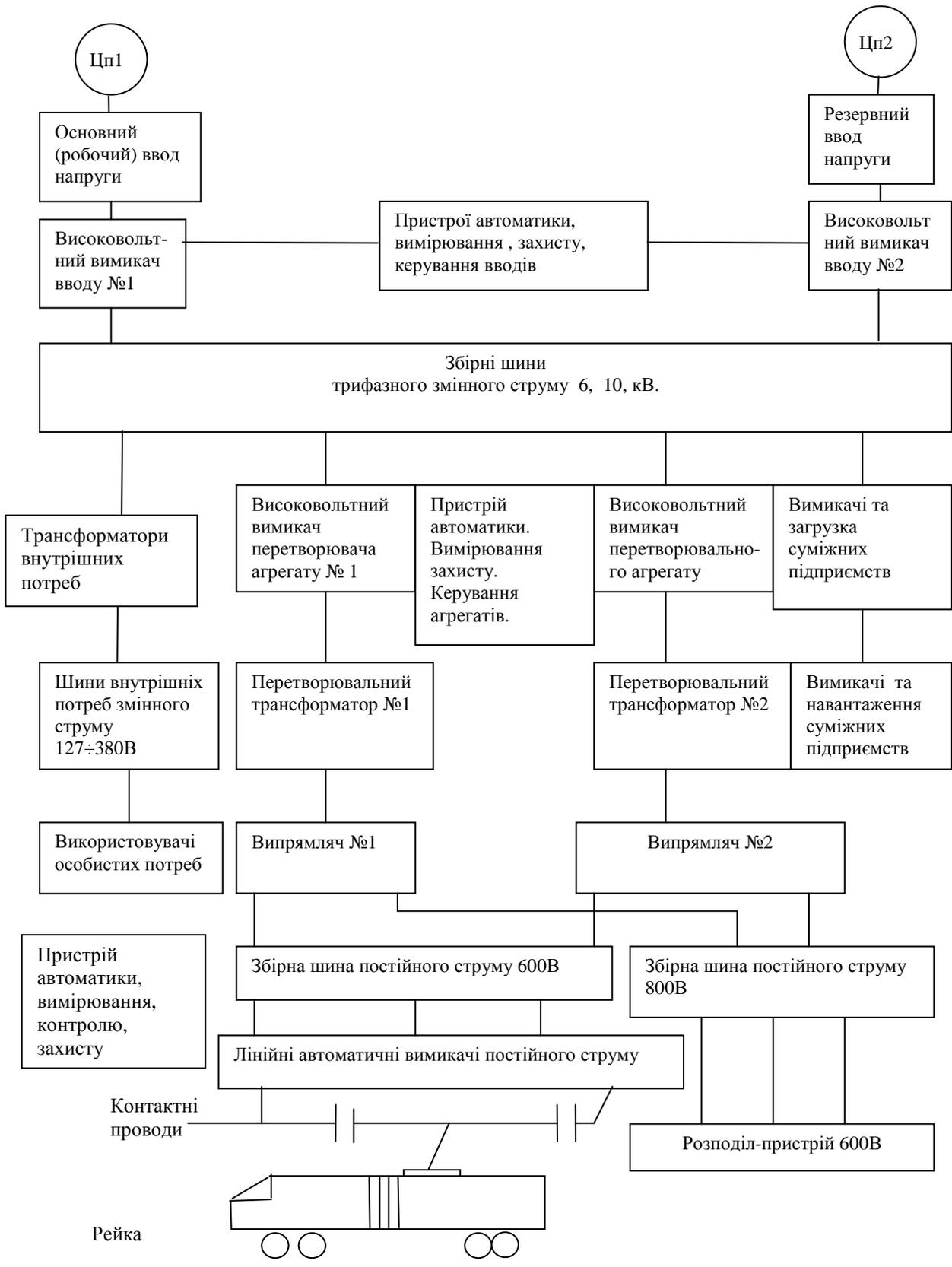


Рис. 5.2 – Структурна схема тягової підстанції (трамвайна)

перетворювальні агрегати, трансформатори власних потреб і навантаження суміжних підприємств.

Перетворювальні агрегати складаються з перетворювальних трансформаторів і випрямлячів. Силкові трансформатори (рис. 5.3) не тільки знижують напругу, але й перетворюють трифазну напругу в шестифазну (дванадцятифазну) [11].

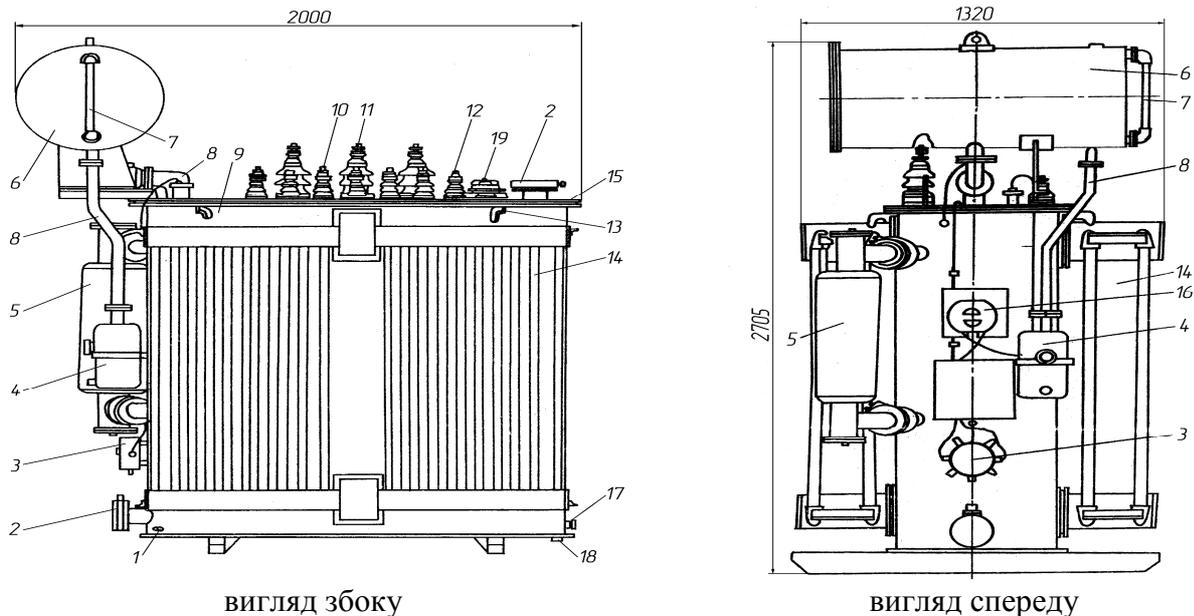


Рис. 5.3 - Загальний вигляд трансформатора ТМПУ-1000:

1 - кран для підйому; 2 - затвори дискові поворотні для приєднання фільтрпреса (на кришці бака – для заливання, у нижній частині бака – для зливу масла); 3 – клемна коробка; 4 – повітроосушник; 5 - термосифонний фільтр; 6 – розширник; 7 – мастилопоказчик; 8 – маслопровід; 9 – кришка трансформатора; 10 - вводи вентильної обмотки; 11 - вводи мережної обмотки; 12 - ввід обмотки зрівняльного реактора; 13 - вантажозахватні пристрої; 14 - теплообмінник (радіатор); 15 - ізоляційна монтажна плита; 16 - термометр манометричний сигнальний; 17 - болт для заземлення трансформатора; 18 - пробка для зливу мастила; 19 - голівка приводу пристрою ПБВ.

Електроенергія випрямленого струму через розподільний пристрій постійного струму, що складається із збірних шин постійного струму (+600 В), автоматичних вимикачів постійного струму, роз'єдинителів поступає в тягову мережу для живлення ЕРС через лінії Л1— Л3. Напруга постійного струму поступає через контактний провід на ЕРС. Постійний струм, проходячи через устаткування ЕРС (тягові електродвигуни та інші), поступає в рейку і нею повертається до розподільного пристрою РУ—600В і мінус випрямляча». Тягові підстанції постійного струму магістрального транспорту відрізняються від тягових підстанцій МЕТ вищим рівнем напруг в распреустройствах і більшою потужністю агрегатів. Тягові підстанції змінного струму не містять потужних випрямлячів.

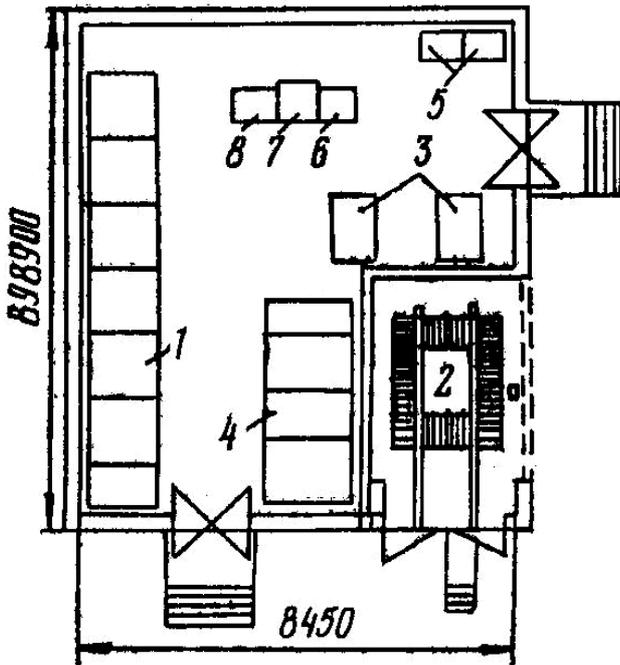


Рис. 5.4. - Планування одноагрегатної тягової підстанції:

1- розподільний пристрій (РУ) 10 кВ;
 2 - камера перетворювального трансформатора; 3 - кремнієві випрямлячі; 4 - РУ випрямного струму; 5 - РУ негативної шини; 6 - щит управління агрегатом; 7 - щит власних потреб; 8 - шафа телекерування (ТК)

Існують декілька основних видів класифікації тягових підстанцій ГЕТ:

- за призначенням: трамвайні, тролейбусні, трамвайно-тролейбусні, метрополітену;
- за типом перетворювачів: з некерованими випрямлячами (перетворювачі типу ВАКЛЕ); з керованими випрямлячами на тиристорах (перетворювачі типа ТПЕ, ВТПЕ);
- за числом агрегатів: одноагрегатні, багатоагрегатні [10];
- за способом резервування: з резервними агрегатами, з резервом за потужності (одноагрегатні п/ст);
- за способом управління: ручного управління (автоматичний тільки захист), напівавтоматичні (автоматизовані деякі процеси управління і контролю), автоматизовані деякі процеси управління і контролю), автоматичні (без персоналу «на замку»), автотелекеровані (автоматичне управління і контроль з диспетчерського пункту); за принципом електропостачання: децентралізованого електропостачання (одноагрегатні і двоагрегатні), централізованого електропостачання (багатоагрегатні);
- за конструктивним виконанням: стаціонарні (закриті і напіввідкриті, одноповерхові і багатоповерхові, наземні й підземні), пересувні.

При коротких замиканнях і перевантаженнях в тяговій мережі (наприклад, замикання контактних проводів через штанги тролейбуса, що зіскочили) на тяговій підстанції відключається відповідний лінійний автоматичний вимикач постійного струму (рис. 5.5), таким чином усувається аварійна ситуація, оберігається тягова мережа, устаткування ЕРС і підстанції від пошкодження.

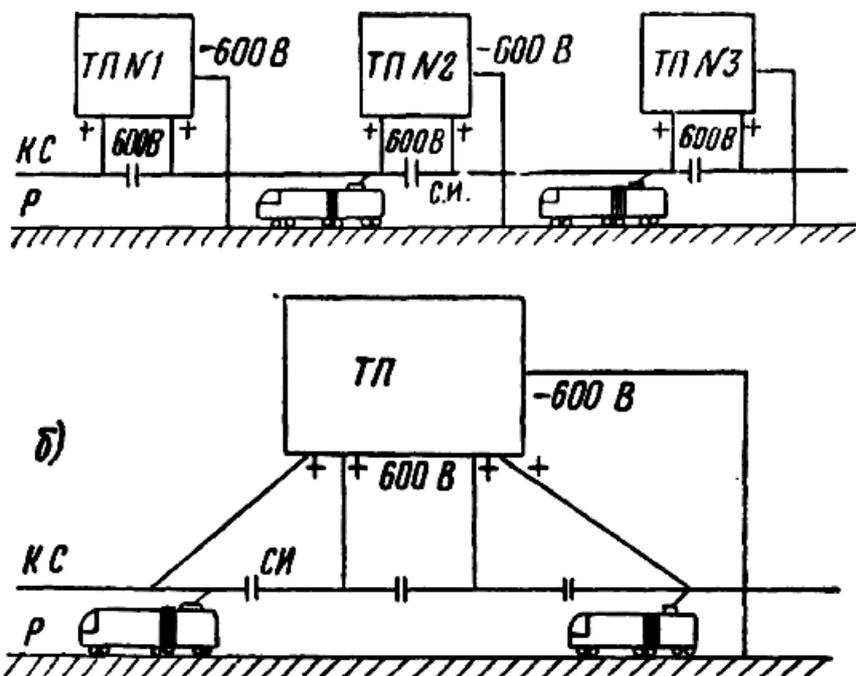


Рис. 5.5 - Системи децентралізованого (а) і централізованого (б) електропостачання ГЕТ: ТП - тяговая підстанція; КМ - контактная мережа; Р - рейка; СІ - секційний ізолятор

У даний час як такі апарати застосовують вимикачі типу ВАТ. Струми коротких замикань, які відключають цими вимикачами, складають близько 30 кА. Вимикачі типу ВАТ — контактні апарати, тому при відключенні виникає відкрита електрична дуга, яка може служити причиною пожеж на підстанції.

У зв'язку з частими відключеннями і необхідністю періодичної ревізії цих вимикачів, вони є одним з ненадійних елементів підстанції. Тому останнім часом на підстанціях стали впроваджувати керовані тиристоровані випрямлячі типу ТПЕ на струми 800 і 1250 А. Тиристорні випрямлячі взяли на себе відразу дві функції — випрямляча і лінійного автоматичного вимикача постійного струму.

При короткому замиканні в лінії і вживанні ТПЕ відбувається безконтактне замикання (відключення) тиристорного випрямляча. Робота тири-

торного випрямляча підвищує надійність роботи тягової підстанції, знижує експлуатаційні витрати, зменшує вірогідність появи пожежі на підстанціях, спрощує схему тягової підстанції.

При вживанні ТПЕ зі схеми підстанції (рис. 5.2) виключаються складні розподільні пристрої постійного струму, що містять лінійні автоматичні вимикачі, система електропостачання перетвориться в систему «перетворюючого агрегат-лінія». Крім того, випрямлячі ТПЕ володіють цілим рядом нових функцій автоматики, діагностики, управління, що побудовані на сучасній елементній базі-інтегральних мікросхемах, що забезпечують надійну роботу як тягової мережі, так і устаткування тягової підстанції.

Одночасно з вживанням ТПЕ замінюються масляні перетворювальні трансформатори (рис. 5.3) на сухі трансформатори (рис. 5.7), що мають менші експлуатаційні витрати і пожежонебезпеку, що підвищують К.К.Д. перетворювального агрегату.

Надійність роботи тягової підстанції забезпечується необхідним резервом як з боку змінного, так і постійного струму.

Два центри живлення (ЦП), що зображені на рис. 5.5, забезпечують роботу підстанції при зникненні енергопостачання на одному ЦП. При несправності в одному з перетворюючих агрегатів або апараті розподільного пристрою постійного струму відбувається перемикання на резервний агрегат або апарат розподільного пристрою.

Система децентралізованого електропостачання (рис. 5.5,а) в порівнянні з централізованою (рис. 5.5, б) має резерв живлення тягової мережі за контактним проводом від сусідньої тягової підстанції. Найбільшого поширення набула система централізованого електропостачання з 2—3 агрегатами на підстанції і 3 і більше живильними лініями постійного струму.

Основне устаткування для тягових підстанцій виготовляє виробниче об'єднання ЗАТ «ПЛУТОН» (м. Запоріжжя).

Тягові підстанції дистанційно управляються районними (РДП) і центральними диспетчерськими пунктами (ЦДП).

У майбутньому планується збільшення потужності тягових підстанцій і перевантажувальної здатності перетворювачів. Продовжується впровадження тиристорних випрямлячів ВТПЕ (рис.5.6) і сухих трансформаторів типу ТСЗП (рис. 5.7).

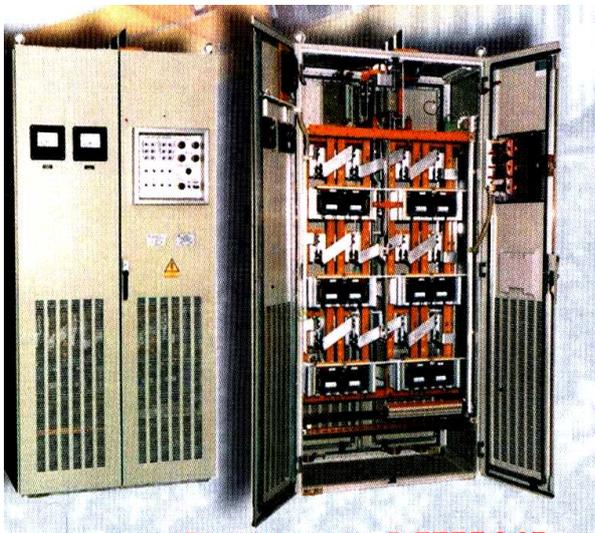


Рис. 5.6 – Тиристорний випрямляч ВТПЕ

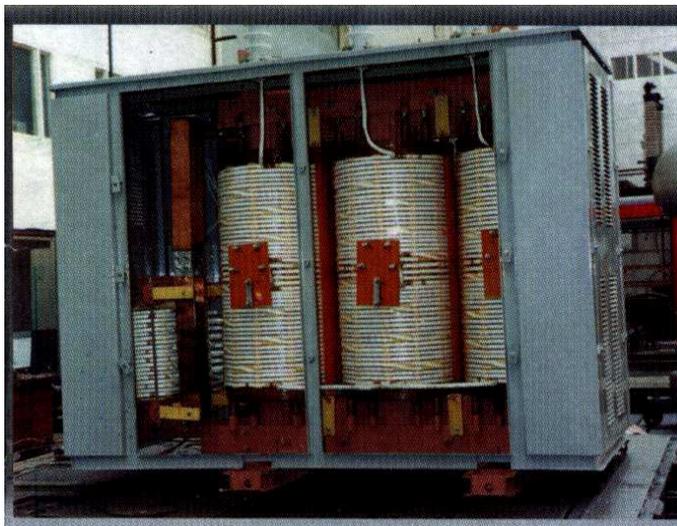


Рис.5.7 - Сухий трансформатор ТСЗП

Розшириться вживання в пристроях автоматизації, захисту, діагности і управлінні тягових підстанцій сучасної елементної бази — інтегральних мікросхем, мікропроцесорів і МІКРО-ЕВМ, збільшиться ступінь автоматизації управління і число виконуваних функцій систем управління і контролю.

Контрольні запитання до розділу 5

1. Коротка історія розвитку системи електропостачання електричного транспорту.
2. Поняття «Система електропостачання електричного транспорту».
3. Коротка характеристика структурної схеми ТП.
4. Основне високовольтне устаткування ТП
5. Призначення силового перетворювального трансформатора.
6. Способи резервування за потужністю ТП.
7. Призначення випрямного пристрою.

РОЗДІЛ 6. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА, ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА НА ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЯГОВИХ ПРИСТРОЇВ

Складовою частиною тягового електроприводу і пристроїв електропостачання електричного транспорту є різного роду перетворювальні пристрої. Їх застосовують для випрямлячів тягових підстанцій, широко використовують в тяговому електроприводі. З їх допомогою змінюють частоту і напругу з метою забезпечення регулювання швидкості тягових електродвигунів. Сучасні перетворювальні пристрої створюються, головним чином, на основі напівпровідникових приладів.

Основні переваги напівпровідникових перетворювальні пристроїв в порівнянні з перетворювачами інших типів (електромашинні, іонні, магнітні і інші) наступні: менші габарити і маса, кращі техніко-економічні показники; вища надійність, полегшені умови роботи обслуговуючого персоналу; вища швидкодія. Достатньо хорошим прикладом може служити заміна ненадійних електромашинних і ртутних, іонних перетворювачів на тягових підстанціях міського електричного транспорту на напівпровідникові [15,17]. Це дозволило створити перетворювач без деталей, меншої вартості і габаритів, що обертаються, з високим К.К.Д.. Напівпровідникові прилади дозволили створити на тягових підстанціях «екологічно чисті» перетворювачі типу ВАКЛЕ, ВТПЕ.

Потужність напівпровідникових приладів (діодів, тиристорів, транзисторів і та ін.), що випускаються, постійно зростає і в даний час складає близько 4 МВт. Вже зараз є тиристири і діоди, що витримують зворотну напругу до 4—5 кВ і ударні струми 30000—40000 кА [15,17].

Широко використовують в електричній тязі малопотужні напівпровідникові прилади для побудови різного роду схем автоматичного управління, зокрема логічних, для електронних керуючих пристроїв і та ін.

Одним з наймогутніших чинників науково-технічного прогресу на транспорті є впровадження мікропроцесорної і обчислювальної техніки.

Високонадійні, дешеві і малогабаритні мікропроцесори, мікропроцесорні комплекти, мікро- і МІНІ-ЕОМ зробити революцію в техніці, яку за своїми наслідками можна порівняти до перевороту, що відбувся близько 30 років тому, який пов'язаний із створенням транзистора. Днем народження напівпровідникової електроніки вважають 1895 р., коли російський фізик і електротехнік О. С. Попов використовував напівпровідник для реєстрації електромагнітних хвиль. В середині 60-х років ХХст. в світі почалося виробництво інтегральних мікросхем (ІМС). В 1978 р. створюють МІКРО-ЕВМ на одному кристалі кремнію (велика інтегральна схема -БІС), що містить 100 тис. схемних елементів. Кількість напівпровідникових приладів в ІМС щорічно подвоюється [7,15].

Принциповою особливістю мікропроцесора — великої інтегральної мікросхеми є можливість вирішити найрізноманітніші і складні задачі. Алгоритми мікропроцесора визначають не його внутрішньою структурою (як це реалізують в системах управління з «жорсткою логікою»), а що задається йому ззовні програмою. Міняючи програму, можна за допомогою того ж самого мікропроцесора вирішувати абсолютно іншу задачу і по іншому алгоритму. Використовування мікропроцесорів в транспортному устаткуванні стає доцільним, якщо система управління містить 20—40 ІМС з «жорсткою логікою».

Вживання мікропроцесорних інформаційно-керуючих систем на електричному транспорті, дозволяє істотно поліпшити експлуатаційні показники рухомого складу і пристроїв електропостачання транспорту, завдяки потенційній можливості мікропроцесорної техніки приймати і обробляти великий об'єм різноманітної інформації і виконувати велику кількість функцій.

У сфері автоматизації пристроїв електропостачання і ТП на мікропроцесорний комплекс можуть бути покладені наступні контролюючі і керуючі функції, направлені на рішення задач в нормальному, аварійному і ремонтному режимах роботи ТП:

- збір, первинна обробка, документування, відображення і передача на районний диспетчерський пункт (РДП) інформації щодо параметрів режиму, полягання схеми і устаткування ТП;

- ретроспективний і поточний аналізи аварій, оцінка правильності функціонування технічних засобів автоматики, телекерування, устаткування підстанцій в цілому;
- автоматичний контроль і діагностика технічного стану засобів автоматики, захисту і управління, самоконтроль;
- зберігання і представлення інструктивно-довідкової інформації, докладних схем вузлів ТП;
- автоматичний контроль електробезпеки та інших небезпечних для людей і навколишнього середовища режимів;
- прийом, документування і виконання повідомних і керівних повідомлень від вищестоящого рівня управління (РДП або центрального диспетчерського пункту -ЦДП);
- управління в аварійному режимі і втому, що обважнює, захист від зовнішніх і внутрішніх аварій, від перевантажень, управління в післяаварійному режимі, оцінка можливості відновлення електропостачання ділянки КМ, АПВ, АВР [11,12];
- управління в нормальному режимі, регулювання потужності підстанції, числа і складу включеного устаткування, рівня напруги, переключення перетворювачів ТП в інверторний режим;
- технологічне управління, програмне включення устаткування, захист від режимів, небезпечних для пасажирів, обслуговуючого персоналу і устаткування;
- визначення місця пошкодження в тяговій мережі та інші.

Як такий комплекс може бути використаний управляюча МІКРО-ЕВМ типу В-7, «КТС-ЛІУС-2», або одноплатні МІКРО-ЕВМ типу «Електроніка-60», С5-41, «Електроніка НЦ», «Електроніка-100», однокристальні МІКРО-ЕВМ К1816, К1820 і ін [7].

Ефективність мікропроцесорного комплексу для ТП міського електричного транспорту може бути досягнутий за рахунок уніфікації і стандартизації засобів автоматизації, зниження витрат на технічне обслуговування ТП і засобів

автоматизації, підвищення надійності і ефективності виконання окремих функцій, автоматизації і рішення нових задач контролю і управління (наприклад, оптимізації нормального режиму роботи устаткування тягових підстанцій, діагностика устаткування, захист електробезпеки і, крім того, зниження трудомісткості, зменшення термінів проектування, впровадження і модернізація засобів автоматизації ТП).

Реалізація мікропроцесорної системи управління стримується через відсутність відповідних розробок, необхідності перегляду багатьох питань управління тяговими підстанціями, відносною трудомісткістю розробки математичного і програмно-алгоритмічного забезпечення, труднощів, пов'язаних з виробництвом і експлуатацією мікропроцесорних засобів, а також недостатньою надійністю елементної бази.

Головною метою автоматизації на електричному транспорті є звільнення персоналу від чисто технічних операцій і за рахунок цього — більше уваги роботі за інформацією пасажирів і забезпеченням їх безпеки.

Найвищим ступенем автоматизації ЕРС є передача автомату функції вибору найправильніших (оптимальних) режимів тяги локомотивам або моторвагонам. Така система управління вже здійснюється на вагонах метрополітену в СНД і інших країнах. Система автоведення має певну програму і за допомогою ЕОМ витримує певні прискорення, швидкості і гальмування з урахуванням профілю шляху, відхилення від графіка руху і ряду інших обставин [21,22].

Одним з перспективних напрямів на рухомому складі є використання мікропроцесорів. Це зв'язано не тільки зі зростанням транспортної мережі народного господарства, але і дотриманням правил безпеки, комфортабельності, економічності транспортного обслуговування.

Уже маємо в дослідній експлуатації пересувний склад з мікропроцесорним управлінням, що здійснює весь процес управління рухомим складом в комплексі або за окремими функціональними задачами: управління режимом тяги, захист від прослизання і буксування; вимірювання наповнення салону; установка заданих параметрів руху у відповідності, наприклад, із

заданою швидкістю, профілем шляху; вимірювання частоти обертання двигуна і коліс рухомого складу; регулювання струму, частоти обертання і магнітного потоку двигуна; регулювання швидкості, прискорення, уповільнення; управління подачею стислого повітря і піску; аварійна сигналізація і самодіагностика; передача і прийом інформації щодо місцезнаходження ЕРС і його полягання на диспетчерський пункт; передача інформації пасажиром, сигналізація про аварійні дорожні умови, запобігання зіткненням з перешкодами; управління тяговим режимом ТЕП, опалюванням, кондиціонуванням повітря; регулювання системи пружного підвішування ЕПС; індикація швидкості і сумарного пробігу, виконання графіка руху; контроль тиску в системі пружного підвішування, шинах і ін.

На рухомому складі зарубіжних конструкцій знаходиться в дослідчій експлуатації мікропроцесорна протиблокувальна система гальмування. Ефективність гальмування і стійкість рухомого складу визначають динамікою його руху і абсолютними величинами відповідної реакції дороги, прикладених до його коліс.

Противобуксовочні гальмівні (рис.6.1) системи повинні виконувати одні і ті ж функції: регулювати гальмівний тиск для утримання зчеплення, яке використовують в зоні, що близька до максимального значення зчеплення, яка допускають: *колесо — дорога*, виключаючи таким чином усяку можливість блокування коліс. При екстреному гальмуванні це дозволяє зробити гальмівний шлях мінімальним, зберегти стійкість і управління рухомих складом.

Система із застосуванням мікропроцесора (рис.6.1) працює таким чином. Датчики виробляють сигнали, відповідні швидкості обертання кожного колеса або осі. Мікропроцесор приймає інформацію від датчиків, визначає ступінь її відповідності умовам безпеки: формувач сигналів управління клапанами відкриває або закриває клапан повітряної магістралі гальм. Якщо якесь колесо починає прослизати на дорожньому покритті і блокується через надмірне гальмівне зусилля, що виявляється в зменшенні швидкості обертання, то мікропроцесор виробляє сигнали і посиляє їх на робочий клапан, який

тимчасово зменшує тиск в гальмівному пристрої, поки заблоковане колесо не відновить зчеплення з дорогою, після чого швидко відновлюється тиск для відновлення гальмування.

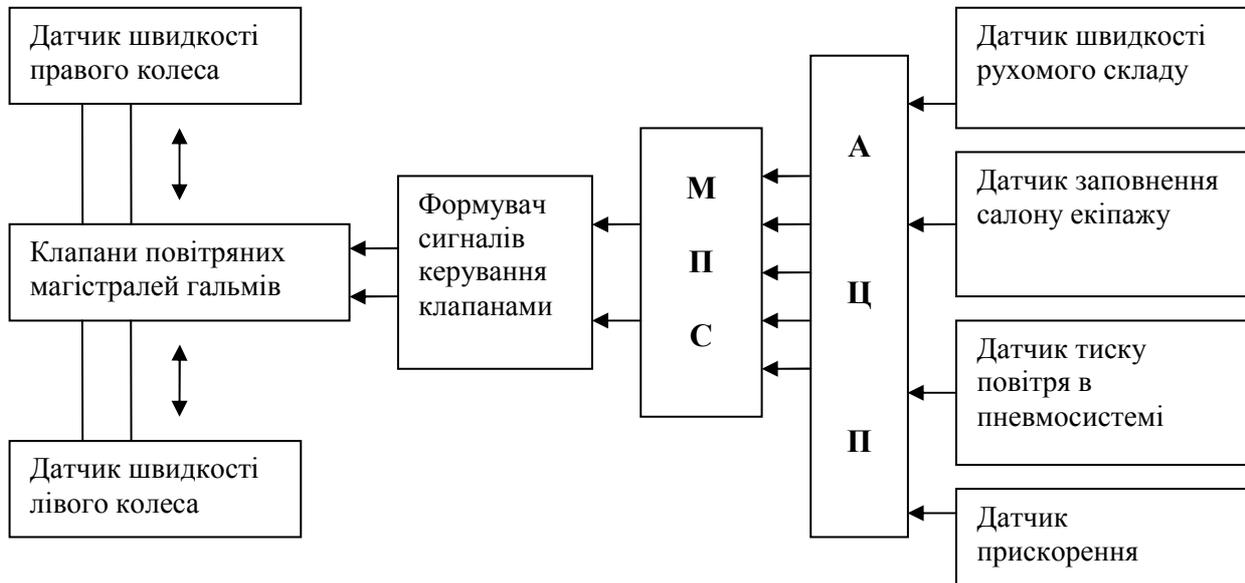


Рис. 6.1 - Мікропроцесорна система гальмування рухомого складу

Параметри, якими в основному оперує при обчисленнях мікропроцесор в противоблокувальній системі, наступні: швидкість обертання колеса, уповільнення і прискорення обертання колеса, час, швидкість руху і ступінь завантаження рухомого складу.

Мікропроцесори дозволяють реалізувати багатофункціональну автоматизовану систему безпеки і регулювання розвитком рухомого складу.

Така система з'явиться першим кроком до створення повністю автоматичної системи управління рухомим складом, необхідної для поліпшення руху транспорту і забезпечення безпеки на транспортних магістралях, а також для оптимізації енергоспоживання на маршрутах руху.

Безперервний розвиток електронної техніки, поява елементів, заснованих на нових принципах, дозволяє сподіватися, що найближчими роками будуть створені спеціальні засоби електронної техніки, що надійно працюють в умовах експлуатації електричного транспорту.

Кожні 3—5 років створюються нові ІМС, які сприяють перегляду технічних рішень системи управління. У зв'язку з цим, у створенні і впровадженні електронних пристроїв спостерігається наступна проблема — рівень надійності

устаткування у зв'язку з вживанням в них ІМС зростає, воно здатне працювати довше, ніж їх попередники, в той же час стрімко зменшується термін морального старіння цієї техніки. Проблема посилюється тим, що силове електроенергетичне господарство дуже стабільне за своєю природою і може не мати морального старіння протягом тривалого терміну експлуатації — 20-ть і більше років. У зв'язку з цим необхідно враховувати наступне:

- при створенні нових пристроїв або нових поколінь електронної техніки необхідно враховувати можливість їх роботи в комплексі з уже існуючим устаткуванням, а також заміни пристроїв старих поколінь новими без істотних змін в інших працюючих в єдиному циклі пристроях і системах;
- електронні пристрої і системи, що розраховані на тривалий термін експлуатації, повинні бути розроблені так, щоб їх можна було в тому або іншому стані пристосувати до майбутніх змінених комплектуючих елементів.

На сьогодні вже є мікропроцесорні автоматизовані системи управління рухом на магістральних залізницях і в системі міського електричного транспорту. Такі системи успішно експлуатуються в СНД, Німеччині, Франції, США та інших країнах. В досвідній експлуатації знаходяться системи управління, де широко використовують обчислювальну техніку (на метрополітені і залізницях).

На рис. 6.2 надана структурна схема мікропроцесорної системи управління рухом потягів метрополітену.

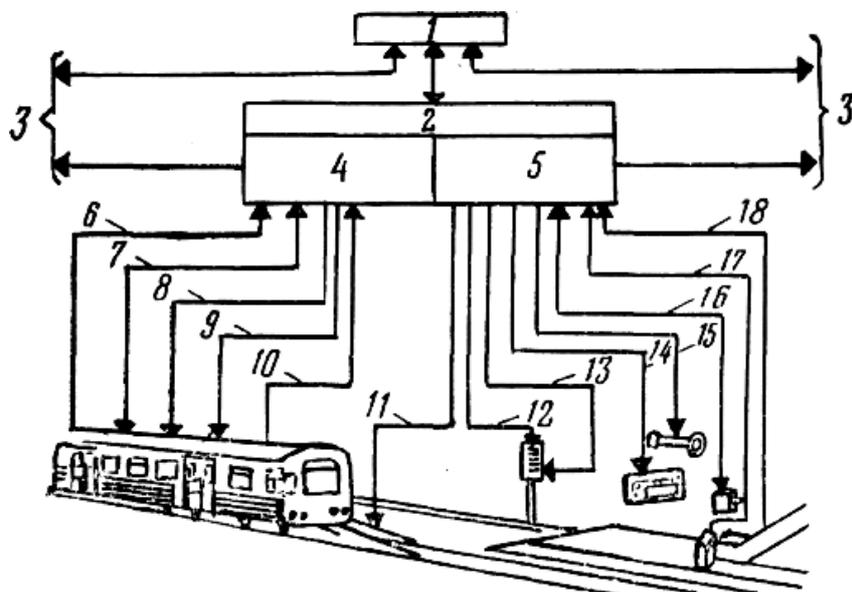


Рис. 6.2 - Структурна схема мікропроцесорної системи управління потягів метрополітену

Головний центр управління 1 пов'язаний з дільничним центром управління 2, що включає відділ управління поїзною роботою 4 і відділ управління колійними пристроями 5. Суміжні дільничні центри управління пов'язані один з одним каналами зв'язку 3. Відділ управління поїзною роботою 4 має спілкування каналами зв'язку, якими передають інформацію щодо несправності в роботі устаткування потягу 6, оголошення для пасажирів 7, накази на закриття дверей і відправлення потягів 5, контрольна інформація P , місце положення потягу і його номер 10.

Відділ управління колійними пристроями 5 управляє колами 11 установки маршрутів, світлофорами 12, закриттям дверей і відправленням потягів 13, передає дані на табло 14 і робить оголошення 15. В цьому відділі є телевізійні камери стеження за пасажирськими платформами 16 і сюди поступає інформація щодо несправності станційного устаткування 18. Для зв'язку з диспетчером в екстрених випадках виділений спеціальний зв'язок 17.

Головна відмінність цієї системи від існуючих систем автоматизації метро полягає в тому, що більшість функцій управління передана до дільничних центрів, а головний пункт - лише координує їх роботу.

Таким чином, передбачається уникнути крупних порушень нормального ритму роботи всієї транспортної системи, оскільки дільничні центри мають нагоду більш оперативно ліквідувати збої.

Дільничний диспетчер потягу спостерігає лише за декількома станціями і поїздами, що знаходяться в межах його диспетчерського кола, може інформувати пасажирів відносно будь-яких змін і працює під керівництвом диспетчера потягу Головного центру управління; за його розпорядженням, наприклад, дільничний диспетчер може скоротити «плече» обороту потягів.

Для візуального нагляду за станціями з дільничних центрів управління використовують систему телебачення. Кожний такий центр обслуговує ділянку довжиною близько 6 км. Закриття дверей потягів і їх відправлення виконує диспетчер дільничного центру управління: за допомогою телебачення диспетчер може спостерігати також за платформою і поїздом.

Постійний зв'язок шляху з потягом здійснюють за допомогою шлейфу, який укладений між рейок. По ньому передають не тільки команди управління, але і інформація про відмови; можлива передача і у вигляді усної мови. Для

ведення потягу і контролю швидкості його руху застосовують бортову МІКРО-ЕВМ. Безпеку руху досягають дублюванням процесів.

Графік руху потягів розробляють в автономному режимі, вводять в ЕОМ (коли необхідно внести зміни) і зберігають в пам'яті ЕОМ. Характеристику плану і профілю шляху також вводять в пам'ять ЕОМ. Після того, як в ЕОМ буде введений необхідний час відправлення потягу з першої станції, вона почне автоматично розраховувати час прибуття на проміжні і пересадкові станції.

Дільничні центри управління щодня одержують з пам'яті головної управляючої ЕОМ центрального пункту управління дані коректування графіка руху потягів ділянками.

Ідентифікатори кожного потягу передають при вступі його на контрольовану нею ділянку, і в міру просування потягу ділянками інформація про нього надходить від однієї управляючої ЕОМ до іншої. Інформація для пасажирів з'являється на встановлених на платформах станцій інформаційних табло. Для контролю місце знаходження потяга на ділянці проводять автоматичний запит їх координат і в разі відхилення їх від графіка, відповідні зміни вносять на інформаційне табло.

Процесор ЕОМ системи безперервного автоматичного управління поїздом передає дані щодо обмеження під час руху потяга на забороняюче свідчення світлофора, про місце розташування зупинних пунктів на станціях, інформацію про прискорення і уповільнення руху і місце початку їх дії. Таким чином, дані щодо швидкості руху виробляються по ходу потяга. Апаратура автоматичного управління потягом виконує команди розгону або гальмування.

Ця система повинна знижати до мінімуму експлуатаційні витрати за умови високого рівня надійності й комфорту.

За кордоном успішно експлуатується система пріоритетного руху тролейбусів, яка забезпечує координацію руху тролейбусів з роботою світлофорів. Крім того, коло управління світлофорами скоординований за допомогою спеціального комплексу програм з існуючою системою забезпечення безперешкодного руху транспорту аварійних і спеціальних служб.

В автоматизованій системі управління використовують алгоритми, що забезпечують відстежування руху кожного тролейбуса з моменту його

входження до центральної частини міста. За допомогою сигналів, що поступають від перемикачів, які вмонтовані в струмонесучі проводи тролейбусної лінії, центральна МІНІ-ЕОМ визначає поточне положення кожного тролейбуса, швидкість його руху і середню тривалість посадки і висадки пасажирів. Ці відомості використовують як приклад для визначення моменту прибуття тролейбуса до чергового перехрестя і включення зеленого сигналу світлофора для його проїзду. Для безперешкодного проїзду автомобілі аварійних служб обладнані миготливими маяками, світлове випромінювання яких сприймається спеціальними приймачами на кожному перехресті, які забезпечують оперативне перемикання світлофорів з червоного на зелене світло. Одночасно при цьому підсвічуються відповідні перехрестя по ходу руху аварійних автомобілів на картографічних індикаторах в центрах технічного обслуговування і головному центрі управління системи.

Вживання обчислювальної техніки активно ведеться і на теплоелектричному рухомому складі.

У багатьох країнах використовують і досліджується мікропроцесорне управління тяговим електродвигуном міського електричного транспорту. Недавно створений в ПНР електродвигун для трамвайних вагонів, містить мікропроцесорний пусковий пристрій, а спеціальна система запобігає блокуванню коліс трамвая на слизьких рейках і ожеледі. Одночасно з цим мікропроцесорне управління двигуном забезпечує плавність і безшумність руху і меншу витрату електроенергії на рух.

З розширенням вживання електроніки на електричному транспорті на першому плані виявляється проблема надійності і особливо гостро вона стоїть там, де вихід з ладу одного елемента спричиняє за собою збій в русі транспорту. Рівень надійності ІМС високий, інтенсивність відмови їх складає $\lambda = 10^{-7}$ 1/ч. Відомо, що для електромеханічного устаткування характерна наявність поступової параметричної відмови, що полягає в поступовому погіршенні параметра.

Для електронних пристроїв навпаки — поступового погіршення параметра немає, виникаючі відмови раптові, повні, до того ж їх частота більша в початковий період.

Крім того, електроніка замінює на рухомому складі механічні пристрої,

вже освоєні промисловістю, які випускають великими серіями і внаслідок цього мають низьку вартість.

Електронні пристрої, що розробляються і запропоновані промисловістю, коштують значно дорожче, принаймні, на перших порах, поки не почався їх серійний випуск. При серійному виробництві протягом 5 років вартість цих пристроїв в середньому знижується за рік на 12%. Тому перед виробниками мікроелектронного устаткування електричного транспорту стоїть важка задача: забезпечення необхідної експлуатаційної надійності при збереженні прийнятної вартості виробу.

Умови роботи електронного устаткування на електричному транспорті достатньо складні. Високий рівень електромагнітних перешкод, що пов'язаний з роботою потужного електричного устаткування на рухомому складі і комутаційної апаратури в системі електропостачання, практично виключає вживання мікропроцесорних біполярних ІМС. Переважно застосовують високопорогові КМДП (комплементарні структури метал-діелектрик-напівпровідник), інтегральні мікросхеми, що характеризуються широким робітництвом температурним діапазоном. Крім того, ці ІМС працюють від одного джерела живлення з широким діапазоном напруги, що допускається (3—15) В.

Особливо суворими є температурні умови, оскільки температура навколишнього середовища коливається від -40° до $+50^{\circ}$ (від передачі тепла сусіднього устаткування) при відносній вологості до 98% (дія інею, роси, грибкової цвілі, соляного туману, парів мастил, бруду, агресивних домішок і та ін. Тому міцність і надійність — головні чинники, з яких виходять виходити при розробці електроніки для транспортного устаткування.

Контрольні запитання до розділу 6

1. Вживання напівпровідникової техніки на електричному транспорті.
2. Вживання мікропроцесорів на ЕТ і ТП.
3. Мікропроцесорна техніка на рухомому складі.
4. Мікропроцесори в системі управління рухом, безпеки на транспортних магістралях і оптимізації споживання на маршрутах руху.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.: ил.
2. Токарев Б.Ф. Электрические машины: Учебн. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624 с.ил.
3. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. Для вузов по спец. «Электрические аппараты» / И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др.; Под ред. И.С. Таев. – М.: Высш. Шк., 1987. – 352 с.: ил.
4. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 3 – изд., перераб. И доп.. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
5. Токарев Б.Ф. Электрические машины: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 672 с.: ил.
6. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
7. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка і мікросхемотехніка: Під ред.. А. Г. Соскова. Вид. 2-е, виправл. і доповн. – Харків: ХДАМГ, 2003 – 281с.
8. Теорія електропривода: Підручник/ М. Г. Попович, М.Г. Борисик, В.А. Гаврилюк та ін. За ред. М.Г. Поповича. - К.: Вища шк., 1993. -454 с.
9. Электрический транспорт. Ефремов И.С., Ссипов В.Е. / Под редакцией Г.И. Безрукова.- М.: Моск.энерг.ин-т, 1987.- 92 с.
10. Клауснітцер Г. Введение в электротехнику: Пер. С нем. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 480 с.
11. Загайнов Н.А., Финкельштейн Б.С., Кривов Л.Л. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Учебник для техникумов (Под редакцией Н.А.Загайнова) издание 4-ое перераб. и доп. М.: Транспорт, 1988 – 327 с.
12. Шевченко В.В., Арзамасцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1987 – 272 с.
13. Закон Украины «Об охране труда». Киев 1992г.
14. Правила устройства электроустановок. Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. - 416 с.
15. Полупроводниковые выпрямители / Е. И. Беркович, В. Н. Ковалев, Ф. И. Ковалев и др.: Под ред. Ф. И. Ковалева и Г. П. Мостковой. -М.: Энергия, 1978. -448 с.
16. ГОСТ 16110-82. Трансформаторы силовые. Термины и определения.
17. ГОСТ 23414-84. Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Термины и определения.
18. ДСТУ 3429-96. Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни та визначення.
19. ДСТУ 2848-94. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення.
20. Обсяг і норми випробувань електроустаткування. Вид. шосте, М.: ЕНАС, 1998, 255 с.
21. Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А. Основы техники релейного захисту. - М.: Энергоіздат, 1984. - 375 с.
22. Правила технічного обслуговування пристроїв релейного захисту і електроавтоматки електричних мереж 0,4 – 35 кВ. – УНПО Енергопрогрес. 1995.
23. Ванін В. К., Павлев Г. М. Релейний захист на елементах обчислювальної техніки. Енергоатоміздат, 1991, 334 с.
24. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справ очник. А. А. Зайцев, А.И. Миркин, В. В. Мокряков и др.; Под ред.. А. В. Голомедова. –М.: Радио и связь, 1989. – 384 с.
25. Гост 2.710 – 81 (СТ СЭВ 2182 – 80). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

Навчальне видання

Нем Валлерій Костянтинович,
Гаряжа Василь Миколаєвич,
Донець Олександр Вадимович,
Сидоренко Віктор Федорович

КУРС ЛЕКЦІЙ

з курсу

«Вступ до електромеханіки»

(для студентів 1-го курсу всіх форм навчання напряму підготовки
6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт»
та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»
і слухачів другої вищої освіти)

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2009, поз. 81 Л

Підп. до друку 15.02.2010
Друк на ризографі.

Формат 60×84 1/16
Тираж 50 пр.

Ум. друк. арк. 4,4
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001