Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# Електрообладнання та електропостачання машин і установок електротехнічних комплексів
# Конспект лекцій

## Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю G3 Електрична інженерія

Укладачі: С. П. Шевчук, О. В. Мейта, М. П. Осадчук

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2026

УДК 621.311 (075)
Э45

Укладачі: *Шевчук Степан Прокопович,* д-р техн. наук, проф.
*Мейта Олександр Вячеславович*, канд. техн. наук, доц.
*Осадчук Микола Павлович*, канд. фіз.-мат. наук, ст. викл.

Рецензент *Калінчик В.П.*, канд. техн. наук, професор,
кафедра Електропостачання НН ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Городецький В.Г.*, канд. фіз.-мат. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського*
*(протокол № 6 від 04.03.2026 р.)*
*за поданням вченої ради Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту*
*(протокол № 8 від 26.03.2026 р.)*

Э45 **Електрообладнання та електропостачання машин і установок електротехнічних комплексів**. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спец. G3 Електрична інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. П. Шевчук, О. В. Мейта, М. П. Осадчук. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 448 с.

Посібник містить інформацію про безпечну експлуатацію електрообладнання геотехнічних підприємств. Розглянуто комплексну систему заходів та засобів електробезпеки; вимоги до надійності електропостачання; захист електроустаткування в аварійних режимах. Приділено увагу особливостям експлуатації електрообладнання в специфічних умовах, які пов'язані з вибухо- та пожежонебезпекою. Наведено відомості про конструкцію та принципи дії електрообладнання, сферу його застосування та умови вибору при проектуванні систем електропостачання геотехнічних виробництв.

Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G3 Електрична інженерія, а також буде корисним для інженерно-технічних працівників енергетичної та видобувної галузей.

УДК 621.311 (075)

Реєстр. № НП 25/26-273. Обсяг 18,9 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
https://kpi.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

# Зміст

ВСТУП ..... 9
**ЛЕКЦІЯ 1**. Загальні питання електропостачання геотехнічних підприємств.... 11
1.1. Основні етапи розвитку електрифікації геотехнічних підприємствах.... 11
1.2. Особливості експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах ..... 18
1.2.1. Класифікація умов експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах ..... 18
1.2.2. Умови експлуатації електрообладнання при підземних геотехнічних роботах..... 19
1.2.3. Умови експлуатації електрообладнання на кар'єрах ..... 22
1.3. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання..... 26
Контрольні запитання ..... 30
**ЛЕКЦІЯ 2**. Умови безпечного використання електроенергії на геотехнічних підприємствах ..... 31
2.1. Електробезпека та основні заходи захисту на геотехнічних підприємствах ..... 31
2.2. Причини електротравм на геотехнічних підприємствах ..... 32
2.3. Дія електричного струму на організм людини..... 33
2.4. Вибір режиму нейтралі ..... 38
2.5. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора ..... 43
2.6. Умови безпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю трансформатора ..... 48
Контрольні запитання ..... 51
**ЛЕКЦІЯ 3**. Організаційні та технічні засоби захисту ..... 52
3.1. Засоби захисту від уражень електричним струмом..... 52
3.2. Електрична ізоляція як головний фактор електробезпеки ..... 54

3.3. Захист від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу сторону ..... 56
3.4. Захисні заземлення та їх виконання ..... 60
3.5. Розрахунок захисних заземлень ..... 65
Контрольні запитання ..... 71
**ЛЕКЦІЯ 4**. Захисне відключення мережі ..... 73
4.1. Принцип дії захисного відключення ..... 73
4.2. Засоби контролю ізоляцій і захисного відключення ..... 80
4.2.1. Найпростіші засоби контролю ..... 80
4.2.2. Схеми, що працюють на струмах нульової послідовності ..... 81
4.2.3. Схеми захисту, які працюють на випрямлених струмах мережі, що контролюється ..... 86
4.2.4. Схеми, що працюють на випрямлених струмах стороннього джерела ..... 90
4.3. Компенсація ємнісної провідності мережі ..... 95
Контрольні запитання ..... 99
**ЛЕКЦІЯ 5**. Засоби попередження вибухів від електричного струму ..... 100
5.1. Вибухо- та пожежонебезпечні середовища та їх класифікація ..... 100
5.2. Вибухонебезпечні суміші в підземних виробках геотехнічних підприємств ..... 106
5.3. Джерела підпалювання рудникового газу ..... 108
5.4. Оцінка іскробезпеки електричних кіл ..... 114
5.5. Попередження пожеж від електричного струму на геотехнічних підприємствах ..... 118
5.5.1. Причини виникнення пожеж від електричного струму ..... 118
5.5.2. Засоби попередження пожеж ..... 119
5.5.3. Локалізація та гасіння пожеж в електроустановках ..... 120
Контрольні запитання ..... 122

**ЛЕКЦІЯ 6**. Виконання електрообладнання загальнопромислового та спеціального застосування ..... 123
6.1. Виконання електрообладнання загальнопромислового застосування.... 123
6.2. Рівні та види вибухозахисту, маркування вибухобезпечного електрообладнання ..... 125
6.3. Електрообладнання в рудниковому нормальному виконанні (РН) ..... 129
6.4. Електрообладнання в виконанні рудникове підвищеної надійності (захист виду "е") ..... 130
6.5. Електрообладнання в вибухобезпечному виконанні..... 131
6.6. Випереджувальне відключення ..... 138
6.7. Іскробезпечне виконання електрообладнання ..... 141
Контрольні запитання ..... 147
**ЛЕКЦІЯ 7**. Захист електроустановок в аварійних режимах та режимах перевантаження ..... 148
7.1. Експлуатаційні режими електроустановок та основні види їх захисту ..... 148
7.2. Захист від струмів короткого замикання ..... 151
7.2.1. Загальні особливості захисту від струмів короткого замикання.... 151
7.2.2. Максимальний захист за допомогою плавких запобіжників..... 157
7.2.2. Захист від струмів короткого замикання за допомогою максимальних реле ..... 159
7.3. Захист від перевантажень..... 163
Контрольні запитання ..... 172
**ЛЕКЦІЯ 8**. Додаткові експлуатаційні захисти, що підвищують безпеку використання електроенергії..... 173
8.1. Мінімальний та нульовий захист..... 173
8.2. Захист від втрати керування при замиканні в колах керування..... 177
8.3. Захист, що обмежує кількість пусків ..... 181
8.4. Контроль неперервності кола заземлення. Захист від обриву заземлення ..... 182

8.5. Забезпечення іскробезпеки кіл дистанційного керування і кіл витоків на землю силової мережі ..... 183
8.6. Захист від іскроутворення в штепсельних пристроях ..... 188
Контрольні запитання ..... 189
**ЛЕКЦІЯ 9**. Електроустаткування геотехнічних підприємств ..... 190
9.1. Апаратура ручного керування у колах напругою до 1140 В ..... 190
9.2. Контролери ..... 192
9.3. Універсальні перемикачі ..... 197
9.4. Автоматичні вимикачі в загальнопромисловому виконанні ..... 201
9.5. Рудникові автоматичні вимикачі ..... 209
Контрольні запитання ..... 217
**ЛЕКЦІЯ 10**. Апаратура дистанційного керування ..... 218
10.1. Реле керування ..... 218
10.2. Контактори ..... 220
10.3. Електромагнітні пускачі в загальнопромисловому виконанні ..... 226
10.4. Рудникові магнітні пускачі ..... 229
10.5. Пускові агрегати ..... 251
Контрольні запитання ..... 253
**ЛЕКЦІЯ 11**. Комплектні розподільчі пристрої напругою 6 (10) кВ ..... 254
11.1. Комплектні розподільчі пристрої підстанцій та розподільчих пунктів ..... 254
11.2. Застосування комплектних розподільчих пристроїв на кар’єрах ..... 259
11.3. Рудникові комплектні розподільчі пристрої ..... 265
Контрольні запитання ..... 275
**ЛЕКЦІЯ 12**. Електричне освітлення ..... 276
12.1. Загальні положення ..... 276
12.2. Основні світлотехнічні величини ..... 280
12.3. Характеристики джерел світла ..... 285
12.4. Лампи розжарювання ..... 286
12.5. Газорозрядні джерела світла ..... 288

12.5.1. Загальні особливості газорозрядних джерел світла ..... 288
12.5.2. Люмінесцентні лампи ..... 289
12.5.3. Способи запалювання люмінесцентних ламп ..... 291
12.5.4. Дугові ртутні лампи ..... 295
12.5.5. Дугові лампи високого тиску ..... 298
Контрольні запитання ..... 299
**ЛЕКЦІЯ 13**. Освітлювальні прилади ..... 300
13.1. Прилади ближнього світла ..... 300
13.2. Прилади дальнього світла ..... 303
13.3. Світильники для вибухонебезпечних середовищ ..... 308
13.4. Освітлювальні установки гірничих підприємств..... 314
Контрольні запитання ..... 321
**ЛЕКЦІЯ 14**. Трансформаторні підстанції гірничих підприємств..... 322
14.1. Загальні відомості ..... 322
14.2. Підземні трансформаторні підстанції та розподільчі пункти ..... 324
14.2.1. Класифікація підземних підстанцій та розподільчих пунктів..... 324
14.2.2. Шахтні трансформатори ..... 326
14.2.3. Центральні підземні підстанції. ..... 327
14.2.4. Розподільчі підземні пункти та стаціонарні трансформаторні підстанції. ..... 330
14.2.5. Пересувні трансформаторні підземні підстанції. ..... 334
14.3. Пересувні комплектні трансформаторні підстанції на кар’єрах..... 339
14.4. Підстанції на промислових майданчиках ..... 344
Контрольні запитання ..... 348
**ЛЕКЦІЯ 15**. Електричні мережі геотехнічних підприємств ..... 349
15.1. Загальні положення ..... 349
15.2. Броньовані кабелі ..... 351
15.3. Кабелі підвищеної гнучкості..... 355
15.4. Гнучкі силові кабелі ..... 357
15.6. Електричні мережі проммайданчиків ..... 367

15.7. Повітряні лінії електропередач на кар'єрах ..... 371
Контрольні запитання ..... 373
**ЛЕКЦІЯ 16**. Електропостачання електровозної відкатки..... 374
16.1. Принципи електропостачання електровозної відкатки..... 374
16.2. Акумуляторні батареї та способи їх зарядки ..... 378
16.3. Зарядні агрегати та підстанції..... 386
16.4. Тягові агрегати та підстанції..... 394
Контрольні запитання ..... 398
**ЛЕКЦІЯ 17**. Будова та розрахунок тягових мереж ..... 399
17.1. Тягові мережі та їх виконання в шахті та на кар'єрах ..... 399
17.2. Задачі тягового розрахунку ..... 406
17.3. Методи розрахунку тягових мереж ..... 408
17.4. Визначення робочих характеристик зарядної підстанції..... 412
17.5. Визначення потужності тягових підстанцій..... 415
Контрольні запитання ..... 419
**ЛЕКЦІЯ 18**. Системи електропостачання промислових підприємств ..... 420
18.1. Вимоги до СЕП та принципи їх формування ..... 420
18.2. Схеми зовнішнього електропостачання..... 425
18.3. Вибір напруги живлення підприємства електричною енергією ..... 430
18.4. Розподіл електроенергії на промислових майданчиках геотехнічних підприємств ..... 432
18.5. Схеми електропостачання стаціонарних електроспоживачів поверхні ..... 435
18.5.1. Електропостачання підйомних установок ..... 435
18.5.2. Електропостачання вентиляторних установок..... 439
18.5.3. Електропостачання компресорних установок..... 442
18.5.4. Електропостачання калориферних та холодильних установок.... 444
Контрольні запитання ..... 446
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ..... 447

# ВСТУП

Дисципліна “Електрообладнання та електропостачання машин і установок електротехнічних комплексів” є однією з профілюючих дисциплін у системі підготовки бакалаврів за спеціальністю G3 Електрична інженерія.

До переліку завдань інженерів цієї спеціальності включаються питання проектування, дослідження, конструювання, інженерного розрахунку та оптимізації електропостачання установок і технологічних комплексів промислового виробництва, вибору електромеханічного обладнання, організації монтажу, налагодження та експлуатації електрообладнання і систем електропостачання, питання забезпечення надійності їх функціонування та безпечного використання електроенергії на різноманітних підприємствах. Вони повинні вміти виконувати інженерний аналіз з питань електрифікації геотехнічних робіт, знаходити та приймати інженерні, економічні та організаційних рішення з урахуванням тенденцій технічного прогресу в електроприводі та електропостачанні, сучасного стану та перспектив вирішення науково-технічних проблем у цій галузі.

Метою дисципліни є вивчення вищезазначеного кола задач та одержання необхідних для інженерної діяльності навичок їх розв’язання.

Дисципліна є заключною в циклі електроенергетичних дисциплін програми підготовки “Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів”. Вона базується на матеріалах дисциплін, що вивчалися раніше: “Теоретичних основ електротехніки”, “Електротехнічних матеріалів”, “Електричних машин”, “Автоматизованого електроприводу”, “Електричних мереж та систем” та інших.

Значення дисципліни “Електрообладнання та електропостачання машин і установок електротехнічних комплексів” у підготовці бакалаврів за освітньою програмою “Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних

комплексів” визначається виключним значенням електрифікації робіт як основної енергетичної бази комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів.

При викладенні дисципліни, велика увага приділяється питанням забезпечення електро-, пожежо- та вибухобезпеки електрообладнання та системи електропостачання в умовах їх експлуатації на геотехнічних підприємствах.

В дисципліні викладаються основні принципові положення та принципи побудови електромеханічного обладнання та систем електропостачання, вивчивши які, студент може самостійно розібратися в деталях тих чи інших пристроїв, конструкцій та енергетичних схем.

# ЛЕКЦІЯ 1. Загальні питання електропостачання геотехнічних підприємств

1.1. Основні етапи розвитку електрифікації геотехнічних виробництв.

1.2. Особливості експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах.

1.2.1. Класифікація умов експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах.

1.2.2. Умови експлуатації електрообладнання при підземних геотехнічних роботах.

1.2.3. Умови експлуатації електрообладнання на кар'єрах.

1.3. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання.

## 1.1. Основні етапи розвитку електрифікації геотехнічних підприємствах

Електрифікація відіграє важливу роль в розвитку всіх галузей народного господарства, у здійсненні всього сучасного науково-технічного прогресу. Електрифікація геотехнічних підприємств має важливе значення як основна енергетична база комплексної механізації і автоматизації геотехнічних робіт.

Сучасні шахти, рудники, кар'єри – це крупні споживачі електричної енергії. Широке розповсюдження отримав видобуток корисних копалин найбільш ефективним відкритим способом на основі втілення прогресивної технології і гірничо-транспортного обладнання великої одиничної потужності. Збільшення частки відкритих робіт у загальному обсязі видобутку сировини дозволяє суттєво підвищити основні техніко-економічні показники, покращити умови праці, майже повністю виключити ручну працю. Видобуток сировини відкритим способом являє собою енергоємний технологічний процес. Потужність електроприймачів окремих гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) досягає 300 МВт і більше.

Подальший розвиток набувають також підземні способи видобутку корисних копалин на базі використання високопродуктивних комплексів при вийманні корисних копалин і проходженні підготовчих виробок. Електричні навантаження сучасних вугільних шахт складають від 20 до 70 МВт. Енергоозброєність шахт зростає із збільшенням глибини розробки. Зростає потужність гірничо-збагачувальних комплексів. Встановлена потужність обладнання сучасних збагачувальних фабрик сягає 150 МВт.

Враховуючи високу енергоємність гірничих робіт розвиток видобувної промисловості завжди був нерозривно пов'язаний з розвитком електроенергетики. Характерною особливістю розвитку енергетики є концентрація потужностей, об'єднання електростанцій у великі енергосистеми, що дає змогу маневру в забезпеченні постачання окремих енергоємних регіонів електричною енергією.

Зростання рівня електрифікації промисловості супроводжується широким впровадженням електроприводу, появою високопродуктивних установок, швидким зростанням енергоозброєності і продуктивності праці.

Проте використання електричної енергії пов'язане з небезпекою, як для працюючих, так і в ряді галузей промисловості, для самого технологічного процесу (загроза пожежі, вибуху). При цьому безпека стає одним із найбільш важливих факторів, особливо при електрифікації підземних гірничих робіт.

При розгляді проблеми безпечного використання електроенергії в умовах підземних гірничих робіт доцільно розширити поняття електробезпеки, тому що пожежі і вибухи, викликані електричним струмом, представляють не меншу небезпеку, ніж безпосереднє ураження електричним струмом.

Історія електрифікації підземних гірничих робіт – це історія забезпечення безпечного використання електроенергії. Із середини XVIII століття до 70 років XIX століття створюються матеріальні передумови для промислового використання електроенергії. Виникає ідея використання електроенергії для підривання шпурів, для приводу машин і освітлення. З'являються промислові установки електромагнітного збагачення руди (40-і роки XIX ст.). Висуваються

пропозиції для забезпечення безпеки при електровибухах і вибухобезпеки електричних світильників.

Починаючи з кінця XIX ст. електроенергія стає основним фактором розвитку промислової техніки. В цей час (80-90-ті роки XIX ст.) розпочинається промислове впровадження електроенергії в шахтах для сигналізації, зв'язку, стаціонарного освітлення, починає використовуватися електропривод постійного струму (з 1881 р.) для окремих стаціонарних установок, транспорту і для вибійних механізмів.

Так, в 1879 році на всесвітній виставці в Берліні був показаний перший електровоз, призначений для відкатки вугілля по штольні. В 1881 році на шахті Сен-Кло був встановлений вентилятор часткового провітрювання з електроприводом. В 1885-1886 роках з'являються перші електрифіковані машини. В 1887-1890 рр. електричними світильниками освітлюються соляні копалини та рудники в Донбасі.

До 1880 р. основним видом електричного струму був постійний струм. Живлення електроустановок здійснювалося або голими проводами, закріпленими на ізоляторах, або (для пересувних добувних машин) по одному ізольованому проводу та по канату. З 1890 р. з'являються перші кабельні вироби. В 1893 році в Англії був освоєний випуск гнучких кабелів із гумовою ізоляцією, а в 1894 р. кабелів із спіральним дротяним сплетінням. В цей же період починається використання захисних заземлень. Швидке впровадження електричного приводу в промисловість, в тому числі і в гірничу, пов'язано із створенням М.В. Доливо-Добровольським системи трифазного струму, асинхронного двигуна (1889 р.) і трифазного трансформатора (1891 р.). Вже в 1895 р. на Щербиновській копальні в Донбасі з'явились перші силові установки змінного струму.

До кінця 10-х років XX ст. створюються електродвигуни, пускова апаратура, кабелі, принципи використання яких у головних рисах збереглися до нашого часу. Проте ряд факторів (складність електричних схем, недосконалість конструкцій, невисока якість ізоляції, безперервний зріст потужностей і напруг,

використання в підземних виробках напруги 1-3 кВ і інше) ускладнили проблему електробезпеки.

Задача використання електроенергії у вибоях газових шахт залишалася довго невирішеною. Небезпека, пов'язана з використанням електричного струму в підземних виробках, змушувала наукову і технічну думку шукати нові рішення, які розширюють область безпечного використання електроенергії в шахтах. Ще в 1815 р. англійський хімік Деві (винахідник шахтарської лампи) робив досліди по запалюванню рудникового газу електричними іскрами. В 1894 р. бельгійські інженери Ж. Жюлен, В. Вірке та О. Дерклай провели досліди по визначенню небезпечних величин ЕРС самоіндукції і напруги, встановили необхідність створення спеціальних вибухобезпечних оболонок для шахтного електрообладнання, що сприяло використанню електроенергії в шахтах, небезпечних за газом та пилом. Початок XX ст. характеризується масовими дослідами в галузі електробезпеки та подальшим розповсюдженням електрифікації підземних гірничих робіт.

Починаючи з 1910 р. на шахтах Донбасу встановлюються підйомні машини, насоси, вентилятори з електроприводом. До 1912 р. в Донбасі працювали близько 70 малопотужних електростанцій (від 25 до 6000 кВт) загальною потужністю близько 30 тис. кВт. Проте вже до 1931 р. близько 98% гірничих підприємств одержували електроенергію централізовано від державних електростанцій. В той же час був налагоджений випуск вибухобезпечних електродвигунів і шахтних гнучких кабелів, освоєно випуск вітчизняних магнітних пускачів і розподільчого обладнання у вибухобезпечному виконанні.

В наступні роки були впроваджені нові серії магнітних пускачів зі сферичною оболонкою, випущені рудникові акумуляторні електровози, нові серії електродвигунів, електросвердла, здійснено перехід на підвищені напруги 380 В і 6 кВ.

В період 1940-х - 1950-х років відбувається суттєве технічне зрушення. В ряді країн випускаються вибухобезпечні трансформатори, високовольтні вимикачі

з безмасляним гасінням дуги, пускачі з іскробезпечними колами керування, підготовлюється перехід на більш високі напруги. До кінця 1950-х років створюються електродвигуни для вибоїв з підвищеними тривалими потужностями, які не поступаються кращим іноземними зразкам, електродвигуни з водяним охолодженням, починається освоєння напруги 660 В, розробляються пересувні підстанції. В кінці 1950-х років в Донецьку створюється спеціальний інститут для створення вибухозахисного електрообладнання для промисловості країни – Всесоюзний науково-дослідний інститут вибухобезпечного електрообладнання (ВНДІВЕ, зараз УкрНДІВЕ), який став центром, де розробляється все вітчизняне рудникове електрообладнання. Для втілення його розробок створюється ряд промислових підприємств (Торезький електротехнічний завод, Першотравневий електромеханічний завод, Донецький енергозавод, Константинівський завод високовольтної апаратури, Шахтарський електромеханічний завод, Зеленокумський завод "Електроапарат"). На базі цих підприємств і організацій зараз створено Донецьке науково-виробниче об'єднання (ДонНВО) "Вибухозахисне електрообладнання".

В 1960-ті роки впроваджені технічні засоби, які були створені раніше. Закінчується перехід на вузькозахватну виїмку, перехід на напругу 660 В і розпочалася експлуатація пересувних підстанцій, негорючих екранованих кабелів. Впроваджені безмасляні високовольтні вимикачі, нова серія пускачів з іскробезпечними колами, вибійні двигуни з тривалою потужністю до 150 кВт і більше, починається впровадження системи випереджувального (в деяких джерелах також зустрічаються терміни «упереджувального» та «упереджаючого») відключення, автоматичного газового захисту.

У 1970-ті роки науково-технічний прогрес в галузі електрифікації був спрямований на розширення використання електроенергії в шахтах і підвищення безпеки експлуатації електроустановок. Був розроблений комплекс електрообладнання на напругу 1140 В. Потужність електроприводу очисних комбайнів підвищилася і досягла 320 кВт.

Ще в 20-ті роки XX століття був прийнятий комплексний напрямок забезпечення електробезпеки: забезпечення електробезпеки як конструктивними засобами, так і вдосконаленням системи вентиляції. У ці роки питаннями електробезпеки починає займатися Макіївський науково-дослідний інститут МакНДІ. У 1932 році були розроблені перші “Правила виготовлення вибухобезпечного рудникового електрообладнання” (ПВВРЕ) і Методика впровадження електрообладнання.

Видобуток корисних копалин відкритим способом в нашій країні - відносно молода галузь гірничої справи. На початку XX століття цей спосіб застосовувався у невеликих масштабах і мав допоміжний характер. Бурхливий ріст енергетики, важкого гірничого машинобудування створили передумови для розвитку відкритого способу видобутку корисних копалин. На початку 1940 року гірнича промисловість отримала вітчизняні електричні екскаватори на гусеничному ході з ємністю ковша 3 м$^3$.

Нині підприємства з відкритим видобуванням корисних копалин мають вигляд найбільш механізованої галузі гірничої справи. Основним видом механізмів при цьому залишаються екскаватори, серед яких переважну більшість складають одноківшеві екскаватори. Перші екскаватори з механічним приводом були винайдені: одноківшеві в 1834-1837 рр., багатоківшеві в 1859-1861 рр. Проте вітчизняна екскаваторобудівельна промисловість була створена лише в 20-50 роки XX ст.

Велике значення для техніки відкритих робіт має застосування гусеничного ходу і електроприводу на екскаваторах. У 1910 р. з’явилися перші екскаватори на гусеничному ході, а також вперше отримали технічне використання однодвигунні та багатодвигунні екскаватори на трифазному змінному і постійному струмі. Електропривод став широко застосовуватися після введення в 1920 році для одноківшевих екскаваторів багатодвигунної системи з триобмотковими генераторами постійного струму, що має “екскаваторну” характеристику.

Подальші дослідження вчених нашої країни привели в 1939-1940 роках до створення нових електромашинних систем з використанням зворотних зв'язків електромагнітних підсилювачів. У 1947 р. було випущено одноківшевий екскаватор нового типу СЕ-3, котрий став прототипом екскаваторів типу ЕКГ-4,6, ЕКГ-5, ЕКГ-8, ЕВГ-4, ЕВГ-6, ЕВГ-15/40, ЕВГ-10/50 і інших.

Різке збільшення видобутку відкритим способом дало застосування крокуючих екскаваторів, ланцюгових і роторних багатоківшевих екскаваторів та транспортно-відвальних мостів. Основним видом перетворювача постійного струму на екскаваторах являються поки-що деякі різновиди системи Г-Д. Перспективними є напівпровідникові перетворювачі, котрі виконуються по системі приводу ТП-Д. Встановлена потужність сучасних екскаваторів і комплексів досягла 20 МВт і більше. Все це примушує по-новому вирішувати проблему надійного забезпечення потужних комплексів електроенергією необхідної якості.

Специфічну область електрифікації гірничих робіт в країні прийшлося розвивати й вдосконалювати по мірі накопичення досвіду будівництва й експлуатації гірничих підприємств. До рішення проблем їх електрифікації притягувалися машинобудівні й електромашинобудівні заводи, науково-дослідні інститути й вищі навчальні заклади, проектні та інші організації, а також вчені і спеціалісти-виробники В багатьох дослідженнях, що торкалися питань електропостачання шахт, кар'єрів, розрізів, створення електрообладнання виймальних та прохідницьких машин, гірничо-транспортних систем безперервної дії, рудникових і промислових електровозів, бурильних верстатів та інших установок приймали участь вчені ВНЗ Дніпропетровська, Донецька, Києва та інших. В розвитку електрифікації гірничих робіт і підготовці кадрів багато було зроблено професорами В.Б Уманським, С.А. Алаторцевим, С.А. Волотковським, М.І. Озерним, Л.В. Гладиліним, В.С. Туліним, А.Є. Тропом, В.М. Винославським, Г.Г. Півняком, В.І. Щуцьким та іншими.

Особлива заслуга в рішенні багаточисельних теоретичних і практичних задач електрифікації підземних і відкритих гірничих робіт належить інститутам України: УкрНДІПроект, ДонВУГІ, ДонДіпровуглемаш, УкрНДІВЕ, МакНДІ та іншим.

## 1.2. Особливості експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах

### *1.2.1. Класифікація умов експлуатації електрообладнання на геотехнічних підприємствах*

Досвід побудови та експлуатації електрообладнання, систем електропостачання на геотехнічних підприємствах переконливо доводять, що нехтування особливих умов роботи електрообладнання на геотехнічних роботах ставить значні перепони для нормального ведення робіт, веде до частих виходів із ладу електрообладнання, аварій та нещасних випадків. Специфіка геотехнічного підприємства впливає як на розробку та виготовлення електрообладнання, так і на його експлуатацію. При цьому розрізняють загальну специфіку геотехнічного підприємства та місцеву.

До загальної специфіки для підприємств з підземними роботами відносять: наявність гірничого тиску; підвищену температуру, вологість та запилення виробок; можливість появи вибухонебезпечної атмосфери; обмеженість габаритів виробок; наявність вибухових робіт у виробках; децентралізацію гірничих робіт; постійне та періодичне переміщення робіт та інше. На підприємствах з відкритими роботами це: робота обладнання на відкритому повітрі в різні пори року, значні розкриті площі в межах кар’єру, грунтоуступна форма гірничих виробок та непостійність робочих горизонтів, постійне переміщення фронту гірничих робіт, децентралізація робіт, наявність вибухових робіт та інше.

До місцевих особливостей підприємства відносять: способи розкриття та підготовки родовища, його глибина, способи розробки родовища, кількість робочих горизонтів, розміри шахтного поля, властивості оточуючих порід, прийняті засоби механізації робіт та транспорту і інше. Загальна специфіка приймається до уваги при проектуванні, розробці та виконанні електрообладнання для гірничих робіт, місцеві особливості – при виборі електрообладнання та проектуванні систем електропостачання.

### *1.2.2. Умови експлуатації електрообладнання при підземних геотехнічних роботах*

Специфічні умови геотехнічних робіт визначають ряд спеціальних вимог до конструкції електрообладнання, ізоляції його струмоведучих частин, способів монтажу та експлуатації обладнання.

Наявність вибухонебезпечної атмосфери у вигляді суміші повітря з метаном та іншими газами (вугільні шахти), повітря з метаном та воднем (калійні рудники), повітря з метаном та сірководнем (озокеритові шахти) вимагає спеціального пожежо- та вибухобезпечного виконання електрообладнання. Для цього використовують різні види вибухозахисту обладнання в поєднанні з контролем складу атмосфери виробок та електричних заходів захисту.

Наявність вологи та пилу в місцях установки електрообладнання потребує спеціального конструктивного виконання оболонок, що запобігають проникненню вологи і пилу в середину оболонок, та використання вологостійкої ізоляції струмопровідних частин, антикорозійного покриття оболонок і окремих елементів.

В гірничих виробках глибоких шахт температура повітря складає приблизно 35 °С, в камерах – 40 °С, відносна вологість повітря – 95...98 %. В умовах високої вологості після ряду циклів нагрівання-охолодження машин чи апаратів всередині їх оболонок накопичується водяна пара, яка при відключенні електроенергії та

охолодженні повітря випадає у вигляді роси на поверхні ізоляторів, кабелів, обмоток і металевих частин. Наявність вологи при підвищеній температурі приводить до утворення плівок вологи на ізоляції, що в свою чергу викликає поверхневі електричні розряди та збільшення струмів витоку на землю, навіть виникнення коротких замикань. Крім цього, волога проникає в середину ізоляції і тим самим сприяє її пошкодженню. Покриття вологою металевих поверхонь при підвищеній температурі посилює корозію, яка особливо шкідлива для дрібних деталей реле захисту та управління, а також для вибухозахисних поверхонь оболонок.

Поряд з цим, вугільний пил (дрібнодисперсний) легко проникає всередину оболонок електрообладнання і є струмопровідним (особливо у вологих умовах), сприяє також збільшенню струму витоку, поверхневих розрядів і виникненню струмів короткого замикання.

Осідання вугільного пилу на вологих поверхнях реле знижує їх чутливість і з часом вони повністю виходять з ладу. Цим негативним явищам сприяє також і те, що шахтна вода в більшості випадків є агресивною – кислотною або лужною.

Треба також врахувати і те, що при розчиненні у воді оксидів азоту, які утворилися в електричній дузі при комутаціях, з'являються азотна і азотиста кислоти, які сприяють підвищенню корозії.

Наявність тиску бокових порід і пов'язане з ним можливе обвалення потребує підвищеної механічної стійкості оболонок електрообладнання, здатного протистояти силі тиску без деформацій і руйнувань.

Наявність вибухових робіт потребує як підвищеної механічної стійкості, так і зручностей швидкого демонтажу обладнання і усування його із зони дії вибуху та подальшого повторного монтажу.

Обмеженість простору в підземних виробках потребує мінімальних розмірів електрообладнання, що обмежує їх потужність. Для досягнення потрібної потужності обладнання використовують ізоляції з високою допустимою

температурою нагрівання, покращують умови його охолодження (наприклад, водяне охолодження двигунів).

Пересувний характер роботи більшості машин і механізмів пов'язаний з безперервним або періодичним переміщенням їх в процесі роботи. Ця обставина потребує наявності гнучкої ланки в системі електропостачання для забезпечення можливості переміщення машин відносно нерухомого пункту живлення, наявності роз'ємних пристроїв для швидкого і легкого від'єднання електрообладнання від електромережі і подальшого приєднання після перенесення. При цьому саме обладнання повинно бути пристосоване до частих переміщень, тобто мати по можливості менші розміри та бути компактним.

Велика площа підземних геотехнічних робіт і територіальна розкиданість окремих робочих машин, при великій потужності, що споживається, ускладнює систему розподілу електроенергії та підведення її до робочих машин. Необхідність використання високої і низької напруги для живлення машин і механізмів ускладнює систему електропостачання та експлуатацію електрогосподарства.

Відсутність можливості проведення ремонту електрообладнання і труднощі заміни обладнання в шахтних умовах потребує використання більш надійних елементів і блочності виконання апаратури. При виникненні в таких апаратах несправностей, з метою зменшення простоїв, пов'язаних з електропостачанням і підвищення безпеки, несправні блоки швидко замінюються резервними, що має сенс також при профілактичних ремонтах, оглядах і перевірках. Необхідність швидкої заміни "блоків" в свою чергу потребує використання в апаратах кришок, що швидко відкриваються, так як наявність блочної системи вже несумісна з багатоболтовим кріпленням кришок, що потребують тривалого часу для їх установки й зняття.

Одним з найважливіших напрямків удосконалення шахтного електрообладнання слід вважати роботи зі зниження його ваги й блочності виконання, котрі можуть бути одержані як шляхом раціоналізації конструкцій і

використання нових більш якісних матеріалів, так і шляхом прийняття принципово нових рішень, що базуються на останніх досягненнях науки.

Тяжкі й часті пуски обладнання викликають необхідність використання пускової апаратури з високою комутаційною здатністю і електродвигунів з високою тепловою і динамічною стійкістю. Тяжкі енергетичні режими погано впливають на строки служби двигунів.

Враховуючи вищезазначені специфічні особливості умов роботи електрообладнання для підземних гірничих виробок, промисловість випускає електрообладнання у виконанні, що відповідає Правилам виготовлення вибухозахищеного рудникового електрообладнання (ПВВРЕ).

Умови роботи електрообладнання в підземних гірничих виробках різноманітні і виготовити якесь "універсальне" електрообладнання, яке б задовольняло всім вимогам і можливим умовам роботи, було б економічно недоцільним, а в окремих випадках – технічно неможливим. Тому ПВВРЕ передбачають різні види виконання рудникового електрообладнання, яке повинно використовуватися в залежності від конкретних умов його роботи.

### *1.2.3. Умови експлуатації електрообладнання на кар'єрах*

Сучасний кар'єр – це підприємство з високим рівнем механізації виробничих процесів на базі електрифікованого обладнання. Безперервне переміщення фронту очисних та розкривних вибоїв потребує переміщення основних машин і механізмів – екскаваторів, бурильних машин, вибійних конвеєрів і т. п. Для їх живлення необхідні пересувні трансформаторні підстанції, пересувні силові і освітлювальні лінії електропередач, пересувні примикаючі пункти (ПП) і т. ін. Це значно ускладнює підведення електроенергії до машин і комплексів, електропостачання кар'єру в цілому.

Частими являються переключення екскаваторних кабелів з одного на інший ПП, змотування і намотування кабелю на барабан, підтягування кабелів.

Необхідність переключення апаратів, кабелів, проводів ліній підвищує механічний знос контактних з'єднань. Багаторазове пересування призводить до підвищення механічних навантажень на корпуси електрообладнання, на кріплення електроапаратів та ізоляторів.

Сучасні кар'єри займають величезний простір – до 5 км$^2$ і більше, а глибина їх досягає 500 метрів. На таких кар'єрах розробка ведеться одночасно на багатьох уступах, число яких досягає 50. Розташування гірничих машин і механізмів по всьому фронту робіт, як по площині, так і по глибині виробок, ускладнює систему розподілу електричної енергії. Необхідно споруджувати розгалужені повітряні і кабельні мережі, значну кількість пересувних підстанцій і примикаючих пунктів. Це в свою чергу потребує використання пересувного електрообладнання, мереж, виконання та експлуатація котрих складніше стаціонарних.

Наявність вибухових робіт на кар'єрах створює значну небезпеку пошкодження електрообладнання, що викликає необхідність створення надійного механічного захисту електрообладнання від ударів каменями, додаткових переміщень обладнання під час вибухових робіт, ускладнює експлуатацію повітряних і кабельних ліній і таке інше.

Все електрообладнання кар'єрів працює під відкритим небом цілий рік, і вдень і вночі за будь-яких погодних умов, що накладає до його виконання та експлуатації значні вимоги. Експлуатація електрообладнання визначається кліматичними умовами зони , в якій розташований кар'єр.

На експлуатацію і надійність електрообладнання значно впливає різкий перепад температур і вологість зовнішнього середовища. Так, в південних районах максимальна температура повітря може досягати 45...55 °С, що на 10...20 °С вище прийнятої умовно при проектуванні електричних машин і апаратів. В цих умовах необхідно занижувати припустиме навантаження на провідники і обладнання згідно з виразом:

$$I'_{прип} = I_{прип}\sqrt{\frac{T_н - T_{фак}}{T_н - T_о}} \quad , \qquad (1.1)$$

де $T_н$ – нормативне нагрівання провідників, обладнання, °С; $T_{фак}$ – фактична температура середовища, °С; $T_о$ – нормована температура зовнішнього середовища, °С.

При низьких температурах ускладнюється експлуатація кабелів і апаратів з масляним заповненням, ізоляція котрих стає крихкою, мастило застигає і порушується нормальна робота апаратів. При низьких температурах знижується надійність механічних вузлів електромашин.

Волога, яка знаходиться в повітрі, при певних умовах конденсується на обмотках і інших частинах електрообладнання, що може призвести до пошкодження ізоляції.

На відкритих роботах, в основному, застосовується електрообладнання в нормальному загальнопромисловому виконанні. Ізоляція провідників електроустановок виконується звичайними матеріалами: гумою, фарфором, склом, капроном, слюдою, ізоляційними рідинами і т. і. Ізоляція з цих матеріалів по-різному зберігає стабільність при впливі на них кліматичних умов зовнішнього середовища. Підвищена вологість потребує використання електрообладнання з вологостійкою ізоляцією, котра в свою чергу просочена вологостійкими лаками. Під впливом зовнішнього середовища в кар’єрі погіршуються ізоляційні якості гуми екскаваторних кабелів.

Гума має значну вологопоглинаючу здатність (сорбцію), тому концентрація вологи в гумі стає значною навіть при відносній вологості 60...70%. Наявність в гумі водорозчинних домішок (тальк, каолін) збільшує її розчинність, а наявність озону в повітрі прискорює процес окислення гуми і призводить до утворення мікротріщин на поверхні ізоляції. При зміні температури зовнішнього середовища в кар’єрі від плюсової (вдень) до мінусової (вночі) волога заповнює мікротріщини і в результаті замерзання збільшує їх розміри. Крім цього, при низьких температурах, в результаті кристалізації каучуку, гумова ізоляція втрачає еластичність, стає крихкою і її згин призводить до утворення тріщин.

В результаті високої запиленості повітря на кар'єрі на ізоляторах і ізоляційних деталях утворюється стійкий шар пилу. Під час дощу, мокрого снігу цей пил стає причиною однофазних замикань на землю. Забрудненню підлягають не тільки відкриті ізолятори, але й ізолятори в шафах розподільчих пунктів і трансформаторних підстанцій (РП і ТП), вхідних коробок і струмоприймальних кілець екскаватора та іншого обладнання.

В районах з частими грозами й сильними вітрами ускладнюється встановлення переносних і пересувних ліній електропередач, тому що в даному випадку потрібне встановлення допоміжних засобів захисту від грозових розрядів і механічних пристосувань для закріплення опор ЛЕП.

У випадку сильних туманів необхідно встановлення допоміжного освітлення. Обслуговування електроустановок і електромереж під відкритим небом, під час негоди, пов'язане з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

При цьому необхідно враховувати також і те, що виконання захисного заземлення і забезпечення його надійної роботи на кар'єрах значно ускладнюється. Ось чому необхідно приділяти велику увагу безпеці обслуговування електроустановок.

Навантаження машин і механізмів на кар'єрах змінюється в широких межах. Електрообладнання на екскаваторах, бурових верстатах і т. д. знаходиться в умовах постійного струсу, поштовхів, вібрацій. Ось чому до нього, а саме, до електромашин, висуваються вимоги підвищеної механічної міцності. Всі ротори і якорі електромашин для гірничого обладнання повинні мати посилені бандажі і короткозамкнуті кільця. Обмотки статорів повинні надійно закріплятися як в пазовій, так і в лобовій частинах.

Електричні машини повинні мати корпуси, які б виключали можливість попадання в них крапель води й сторонніх предметів. Для кар'єрних установок, розташованих під відкритим небом, слід застосовувати електромашини і апарати з водонепроникним виконанням. На екскаваторах і інших гірничих машинах

повинні використовуватися трансформатори, масляні вимикачі та інше обладнання з підвищеною механічною міцністю, яке б забезпечувало нормальну роботу при струсах.

## 1.3. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання

Необхідний рівень безперебійності роботи технологічних установок і, відповідно, рівень безперебійності живлення споживачів електричною енергією регламентується Правилами улаштування електроустановок. При цьому всі електроприймачі поділяються на три категорії. ПУЕ дають лише загальні принципові рекомендації по надійності електропостачання, ці вимоги деталізуються та конкретизуються у галузевих нормативних документах.

До електроприймачів першої категорії належать такі, перерва в живленні яких може викликати загрозу для життя людини, пошкодження головного дорогого обладнання, значний збиток народному господарству, масовий брак продукції, порушення складного технологічного процесу. Перерва в електропостачанні цих споживачів може бути лише на час автоматичного вводу резервного живлення (АВР).

На кар’єрах до електроприймачів першої категорії відносять: водопонижуюче та водовідливне обладнання; машини, які використовуються на розкривних роботах на дільницях гідромеханізації; дренажні шахти; протипожежні насоси проммайданчика; котельні; АТС та ЕОМ.

На шахтах і рудниках це: клітьовий підйом із власними потребами; вентилятор головного провітрювання для шахт третьої категорії та зверхкатегорійних за газом, незалежно від місця розташування (з АВР); вентилятори головного провітрювання шахт першої, другої категорій та негазових і головні вентиляторні установки на окремих блоках, для яких можливе резервне живлення від розподільчих пунктів інших установок (без АВР); компресорні станції, якщо головною є пневматична енергія; обладнання для дегазації

вугільних пластів; головний водовідлив; центральні підземні підстанції (ЦПП); магістральні перекачні вуглесосні станції (гідротранспорт); гідропідйом, суміщений із водовідливом; протипожежні насоси; канатна пасажирська дорога; АТС; ЕОМ.

На будмайданчиках метрополітенів та інших підземних споруд до споживачів першої категорії відносять: головні вентиляторні установки; головний водовідлив (його можна віднести до споживачів другої категорії при наявності відповідного водозбірника); кесонні роботи.

В складі електроприймачів першої категорії ПУЕ рекомендує виокремити особливу групу електроприймачів, неперервна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів, пожеж та пошкоджень дорогого обладнання.

Живлення електроприймачів першої категорії передбачається від двох незалежних джерел.

Незалежними джерелами живлення можуть бути дві секції або системи шин однієї або двох електростанцій чи підстанцій при виконанні наступних умов:

- кожна із секцій або систем шин має отримувати живлення від незалежного джерела;

- системи шин не з’єднані між собою, або які мають зв’язок, котрий автоматично вимикається при порушенні нормальної роботи однієї із секцій шин.

Для забезпечення надійного живлення електроприймачів особливої групи, повинне передбачатися третє незалежне джерело живлення, в якості якого використовуються місцеві електростанції, електростанції енергосистеми (шини генераторної напруги), спеціальні агрегати безперервного живлення, акумулятори, дизельні електростанції.

При виході з роботи одного з двох незалежних джерел живлення, третє повинно негайно готуватися для автоматичного резервування електроприймачів особливої групи на випадок виходу з роботи другого джерела. Третє незалежне джерело, зазвичай, обмеженої потужності, тому що призначене лише для

безаварійної зупинки виробництва після того, як головні джерела живлення будуть вимкнуті.

До електроприймачів другої категорії відносять такі, перерва в живленні яких пов'язана з масовим недовиробництвом продукції, прогулами робочих, простоями механізмів, транспорту. Перерва в електропостачанні цієї групи можлива на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення черговим персоналом або виїзною бригадою. Електроприймачі другої категорії рекомендовано живити від двох незалежних джерел.

При наявності централізованого резерву трансформаторів та можливості зміни пошкодженого трансформатора за час до однієї доби, можливе живлення електроприймачів другої категорії від одного трансформатора.

На кар'єрах до електроприймачів другої категорії належать: машини, які використовуються на добувних роботах; електрифікований залізничний або конвеєрний транспорт; компресори; технологічний комплекс проммайданчика.

На шахтах та рудниках до споживачів другої категорії належать: скіпові підйоми із власними потребами; вантажна канатна дорога (при відсутності складу продукції); компресори; дільничний водовідлив з припливом води понад 50 $м^3$ за годину; зумпфові водовідливи; об'єкти будівництва шахт.

На будівельних майданчиках метрополітену та інших підземних споруд, до електроприймачів другої категорії відносять:

- на поверхні: компресори (крім кесонних робіт), водовідлив, водопониження, насосні та калориферні станції, підйомні машини;

- в підземних виробках: електровозний транспорт, механізація робіт, місцевий водовідлив, вентиляція, робоче освітлення.

Всі інші споживачі – електроприймачі третьої категорії. Перерва в їх живленні можлива на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента мережі, але не більш ніж на добу.

На кар'єрах електроприймачами третьої категорії є: машини, які використовуються на розкривних роботах та відвалах; освітлення доріг;

транспорт породи; адмінпобуткомбінат; механічні майстерні; склади; автогаражі; освітлення проммайданчика та будівель.

На шахтах і рудниках це: вантажна канатна дорога (при наявності складу продукції); перетворювальні агрегати електровозної відкатки; скреперні установки на підготовчих та добувних роботах; освітлення будівель; промислових майданчиків; механічна майстерня; адмінпобуткомбінат.

На будмайданчиках метрополітену і тунелів електроприймачами третьої категорії є: будівлі виробничо-побутового призначення; механізація робіт на поверхні; заморожування ґрунтів; скіповий підйом; освітлення. В підземних виробках споживачів третьої категорії немає.

При живленні потужних екскаваторів на кар'єрах є деякі суперечності. Працюючи на розкритті, відвалоутворенні та рекультивації, вони є споживачами третьої категорії . В той же час вони являються важливою ланкою технологічного процесу і перерва в їх електропостачанні викликає розлад технологічного процесу зі значним збитком (масове недовідвантаження гірничої маси, простої технологічно пов'язаних машин і агрегатів). Тому тривалі перерви в електропостачанні (до доби) для цих екскаваторів недоцільні. Враховуючи це, всі екскаватори слід відносити до споживачів другої категорії, при цьому обов'язкова наявність резервного джерела живлення.

Як відомо, у споживачів другої категорії перерва в живленні можлива на час вмикання резерву черговим персоналом або виїзною оперативною бригадою. Але на сучасних кар'єрах роботи виконуються на великій території, в умовах місцевості з різноманітним рельєфом, рухатися по якій буде важко. При цьому кар'єрні підстанції в багатьох випадках працюють без чергового персоналу. Тому треба використовувати на підстанціях кар'єру системи АВР, як засіб підвищення надійності електропостачання. Слід також передбачати АПВ на кар'єрних лініях напругою вище 1000 В.

## Контрольні запитання

*1. Які вимоги до рудникового електрообладнання обумовлені умовами його експлуатації в підземних виробках шахт та рудників?*

*2. Проаналізуйте умови експлуатації електрообладнання при будівництві підземних споруд та в приміщеннях метрополітенів.*

*3. Проаналізуйте умови експлуатації електрообладнання на підприємствах нафтогазового комплексу та вимоги до обладнання.*

*4. Які вимоги до електрообладнання та систем електропостачання обумовлені умовами їх експлуатації на кар'єрах?*

*5. Що таке електроприймачі першої категорії геотехнічних виробництв та які вимоги до їх електропостачання?*

*6. Охарактеризуйте незалежні джерела живлення. Які електроприймачі відносяться до особливої та критичної груп електроприймачів?*

*7. Наведіть визначення та приклади електроприймачів другої та третьої категорій геотехнічних виробництв і вимоги до їх електропостачання.*

# ЛЕКЦІЯ 2. Умови безпечного використання електроенергії на геотехнічних підприємствах

2.1. Електробезпека та основні заходи захисту на геотехнічних підприємствах.

2.2. Причини електротравм на геотехнічних підприємствах.

2.2. Дія електричного струму на організм людини.

2.4. Вибір режиму нейтралі.

2.5. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора.

2.6. Умови безпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю трансформатора.

## 2.1. Електробезпека та основні заходи захисту на геотехнічних підприємствах

Електроенергія має безперечні переваги перед іншими видами енергії. Це: простота використання, відносна дешевизна та екологічна чистота, можливість передачі на значні відстані.

Розвиток економіки супроводжується завжди розширенням області використання електричної енергії, ростом енергоозброєності праці. Електрична енергія є потенційним джерелом небезпеки. На гірничих підприємствах вона може бути причиною враження людей електричним струмом та може викликати пожежі і вибухи. Тому умовою безпечного використання електричної енергії є використання: комплексу заходів попередження враження обслуговуючого персоналу електричним струмом; комплексу заходів попередження пожеж та вибухів, причиною яких є електричний струм.

На геотехнічних підприємствах існують особливі умови, які мають певний вплив на стан виробничого травматизму, зокрема електротравматизму. Найважливішими факторами виробничого середовища, що впливають на організм

людини та на можливість ураження електричним струмом у цих умовах, є: підвищена температура, вологість, робота при недостатньому освітленні, наявність шуму гірничих машин та вібрацій, гірничого тиску, що підвищує пошкоджуваність електроустаткування та мереж.

У світі на 1 млн. мешканців припадає від трьох до десяти електротравм з летальними випадками на рік. Ураження електричним струмом складає 2...2,5 % від усіх травм, але 12 % із летальними випадками. Особливо проблема є гострою для України, де на 1 млн. мешканців щорічно гине більше 20 чоловік, в той же час як в розвинутих країнах Європи цей показник складає 5...7 загиблих на 1 млн. мешканців. Більша частина (більше 80 %) смертельних електротравм припадають на електроустановки напругою до 1000 В.

## 2.2. Причини електротравм на геотехнічних підприємствах

Як показує аналіз електротравм в Україні, загальними причинами електротравм є: незадовільна організація робіт, особиста необережність потерпілих, грубе порушення вимог Правил безпеки.

Для гірничодобувної промисловості відносно більша частина електротравм припадає на відкриті роботи – 60...65 %, на підземні – 30...40 % від загальної кількості травм. При чому 60 % всіх електротравм виникає внаслідок порушення Правил безпеки (ПБ), 40 % електротравм – внаслідок конструктивних недоліків електрообладнання, мереж, електроустановок. Найбільша кількість електротравм (приблизно 57 %) припадає на персонал зі стажем роботи до 3-х років. Таку ж частку електротравм одержують працівники у віці до 30 років.

Коротко можна назвати основні причини електротравм на геотехнічних підприємствах:

- торкання струмоведучих частин, що знаходяться під напругою (до оголених проводів, шин, контактів апаратів та ін.);

- торкання конструктивних частин мережі та обладнання, які нормально не знаходяться під напругою, але опинилися під нею при пошкодженні ізоляції;

- знаходження біля обірваних проводів;

- торкання металевих предметів, які не є елементами електроустановок, але випадково опинилися під напругою;

- поява потенціалів на ділянці робіт зі знятою напругою внаслідок індукції від сусідніх установок, що знаходяться під напругою;

- попадання під напругу внаслідок зворотної трансформації;

- торкання статично зарядженого обладнання.

## 2.3. Дія електричного струму на організм людини

Небезпечний вплив електричного струму на людину було виявлено в останній четверті XVIII століття. Першу виробничу електротравму при постійному струмі описав француз Леруа де'Маркюр у 1863 році, а першу електротравму при змінному струмі у 1882 році описав австрійський вчений С. Еллінек. Однак електробезпека, як система організаційних, технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики, виникла значно пізніше, коли почалося широке впровадження змінного струму.

Дія електричного струму на організм людини залежить від багатьох факторів: від роду струму (постійний чи змінний); від його частоти; від величини струму; від тривалості протікання струму; від шляху проходження струму через людину; від фізичного і психологічного стану людини.

Вивчення механізму електротравм показує, що електричний струм викликає в організмі загальну рефлекторну реакцію зі сторони центральної та периферійної нервової систем, серцево-судинної системи, що призводить до порушення нормальної роботи серця або до зупинки дихання. Найбільш шкідлива дія струму з промисловою частотою 50...60 Гц – з'являється хаотичне скорочення волокон

серцевого м’язу, так звана фібриляція, при появі якої припиняється робота серця. Найбільш імовірно людина вражається при проходженні струму через найбільш важливі органи: серцево-судинну систему, нервову систему та ін. Найбільш вразливими частинами тіла є: зворотна сторона долоні, щока, шия, плече, гомілка. Необхідно пам'ятати, що при враженні струмом, нормальна робота серця не відновлюється сама по собі. У випадку фібриляції запустити серце можна тільки за допомогою дефібрилятора, а непрямий масаж серця дозволяє підтримати життя потерпілого до приходу лікаря. Але припинення дихання та серцебиття не означає, що настала дійсна смерть. Це може бути шок чи клінічна смерть, яка може продовжуватися 7...8 хвилин. Про те, це не може бути причиною відмови від надання допомоги. Треба робити непрямий масаж серця та штучне дихання. Обов'язковими є ці заходи до приходу лікаря. Тільки лікар констатує смерть. Така травма називається електричним ударом і має місце часто при проходженні невеликих струмів.

Крім такої травми існують інші електротравми: опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри. Опіки мають місце як при безпосередньому проходженні струму через тіло людини, так і без проходження, наприклад: при розплавленні плавких вставок запобіжників, від часток розплавленого металу, що розлітаються під час електричного розряду, від доторкання до сильно нагрітих частин електроустаткування. Більш серйозні опіки бувають від електричної дуги, особливо в мережах напругою вище 1000 В. Короткочасне проходження великого струму, як правило, не супроводжується електричним ударом, але є часто достатнім щоб викликати серйозні, можливо смертельні, опіки.

Електричні знаки за зовнішньою ознакою являють собою припухлість на поверхні шкіри круглої чи еліпсоїдної форми з різко окресленою каймою. Особливістю електричного знаку є безболісність, але наслідки такої травми можуть бути серйозними (муміфікація, відторгнення).

Електрометалізація полягає в поверхневому проникненні частинок металу в шкіру. Наслідки травми залежать від ураженої поверхні як і при опіках. Навіть

при легких електротравмах, за рахунок дії електричного струму, можливі ускладнення: розлад зору, слуху, викривлення смаку та ін. Із пізніших ускладнень можливі: стенокардія, інфаркт міокарда, психоневрози, цукровий діабет та ін.

Наслідками електротравми також можуть бути: проушення нормального функціонування клітин внаслідок переміщення іонів під дією струму, перелами кісток внаслідок мимовільного скорочення м'язів, опік очей ультрафіолетовим випромінюванням електричної дуги.

Наслідки дії електричного струму на людину, його ступінь небезпечності визначається різними факторами. Найбільш небезпечним є змінний струм промислової частоти 50...60 Гц, що обумовлено здатністю його подразнювати та викликати збудження тканин організму, порушуючи його життєву функціональну діяльність. Постійний струм приблизно в 3...5 раз є безпечнішим, його дія менш інтенсивна і в основному теплова. Але при напрузі 500 В постійний струм за небезпекою не відрізняється від змінного.

Із зростанням частоти струму небезпечна дія змінного струму зменшується.

Небезпека струму, що протікає через тіло людини, підвищується із зростанням струму.

За дією на організм людини розрізняють:

- пороговий відчутний струм (0,5...2 мА змінного струму і 5...7 мА постійного);

- пороговий відпускаючий струм - найбільше значення струму, при якому людина може самостійно звільнитися від провідника зі струмом (приблизно 6 мА);

- пороговий невідпускаючий струм (10...15 мА змінного струму і 50...130 мА постійного);

- пороговий фібріляційний струм (80...100 мА) при дії більше 3 секунд.

Струм 100 мА є смертельно небезпечним. В практиці проектування засобів захисту за тривале безпечне значення струму прийнято 25 мА при наявності засобів автоматичної компенсації ємності мережі та 30 мА – при їх відсутності.

Чим довша дія струму на організм людини, тим більша ймовірність його небезпечних наслідків і навпаки. Залежність величини короткочасного безпечного змінного струму від тривалості його дії на організм може бути представлена формулою американського інженера Дальзіеля:

$$I_{кб} = \frac{0,165}{\sqrt{t}}, \qquad (2.1)$$

де $I_{кб}$ – короткочасний безпечний струм, А; $t$ – час проходження струму через людину.

На практиці використовують наступний ряд залежності короткочасних допустимих струмів від часу проходження через тіло людини (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1. Ряд короткочасних допустимих струмів від часу проходження через тіло людини

| T, с | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1 | 30 | Більше 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_{кб}$, мА | 250 | 100 | 75 | 65 | 6 | 1 |

Дія струму на організм людини залежить також від шляху проходження струму. Дуже небезпечним є проходження струму крізь основні органи життєдіяльності людини. Важливим параметром, що дозволяє знайти величину вражаючого струму, є електричний опір кола струму, що протікає через людину. Найбільш ймовірними є шляхи струму від одної руки до іншої та від руки до ноги. Це є найбільш небезпечні шляхи, тому що струм проходить через область серця, основні нервові вузли та ін.

Якщо людина торкається до струмоведучих елементів двома руками, то опір кола можна записати як вираз:

$$R_{кола} = R_{люд} + 2R_{п.к.}, \qquad (2.2)$$

де $R_{кола}$ – опір кола замикання, Ом; $R_{люд}$ – опір людини, Ом; $R_{п.к.}$ – перехідний опір в місці контакту з струмоведучим елементом установки, Ом.

Опір кола для шляху струму від руки до ноги:

$$R_{кола} = R_{люд} + R_{п.к.} + R_{взуття} + R_{р.з.}, \qquad (2.3)$$

де $R_{\text{взуття}}$ – опір взуття, Ом; $R_{\text{р.з.}}$ – величина опору розтікання струму на землю, Ом.

Звідси видно, що для забезпечення безпеки персоналу використовують індивідуальні засоби захисту: діелектричні рукавички, які значно збільшують опір $R_{\text{п.к.}}$; гумове взуття ($R_{\text{взуття}} = 1$ кОм і більше), ізоляційні килимки, підставки та ін., які збільшують $R_{\text{р.з.}}$. При розрахунку захисту виходять із найбільш небезпечних випадків, коли всі значення опорів приблизно дорівнюють нулю, тобто $R_{\text{кола}} \approx R_{\text{люд}}$.

Багатьма експериментальними дослідженнями встановлено, що величина опору тіла людини залежить від багатьох факторів: прикладеної напруги, частоти, площі контакту з електродами, стану шкіряного покриття, місця контакту, температури зовнішнього середовища та ін.

Найбільший опір має шкіра людини, а повний опір людини є нелінійною величиною і може бути поданий схемою заміщення (рис. 2.1).

Підвищення напруги, прикладеної до тіла людини, веде до пробою шкіряного покрову, в результаті чого повний опір людини зменшується до внутрішнього опору людини.

Для розробки захисту необхідно знати і вміти оцінити хоча б приблизно мінімальне значення опору людини.

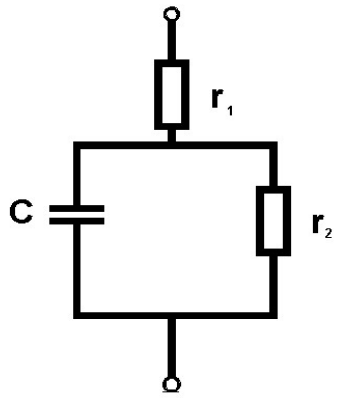



Рис. 2.1. Схема заміщення опору людини: $r_1$ – опір внутрішніх органів; $r_2$ – опір шкірного покрову; с – ємність, обумовлена шкіряним покровом

За мінімальний розрахунковий опір людини прийнято опір $R_{люд} = 1000$ Ом. Найбільш небезпечним є торкання людини до двох фаз, коли до тіла людини прикладена лінійна напруга мережі, тоді струм через людину є небезпечним, так як:

$$I_{люд} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ф}}{R_{люд}}, \qquad (2.4)$$

де $I_{люд}$ – струм через людину, А; $U_{ф}$ – фазна напруга, В.

Але людина, на щастя, у більшості випадків попадає під одну фазу. В цьому випадку струм через людину залежить від прийнятого режиму нейтралі трансформатора: ізольована вона чи заземлена.

## 2.4. Вибір режиму нейтралі

За стандартами МЕК 60364-5-54 мережі маркуються наступним чином (рис. 2.2). Перша літера позначає режим нейтралі мережі (рис. 2.2, а, б) та в залежності від прийнятого режиму позначається I або T (I – нейтраль джерела ізольована (insulate – ізолювати) T – нейтраль джерела заземлена (terra – земля)).

Друга літера позначає режим роботи електроприймачів, підключених до мережі і може бути N (з’єднання з нейтральним провідником джерела живлення) або T (з’єднання з землею).

Третя (додаткова) літера в стандарті МЕК визначає спосіб з’єднання нульового захисного (НЗ) провідника з нейтраллю джерела живлення. Коли нульовий захисний провідник поєднується з нульовим робочим (НРЗ) використовується літера C (combine). Мережа типу TN-C (рис. 2.2, в) широко розповсюджена в світі, хоч і має ряд недоліків: складність використання селективних пристроїв захисного відключення (ПЗВ); наявність перешкод в системах телекомунікацій, в комп’ютерних мережах та ін. внаслідок протікання частини робочих струмів силової мережі через землю; можливість появи фазної напруги на корпусах обладнання. Більш прогресивною і більш безпечною є

мережа типу TN-S, в якій нульовий захисний провідник відділений (separate) від нульового робочого (рис. 2.2, г). В правилах будови електроустановок (ПБЕ), прийнятих в Україні в 2001 році, окрім вказаних вище систем передбачена система TN-C-S (рис. 2.2, д), коли функції нульового робочого та захисного провідника об'єднані в одному провідникові (PEN) в частині мережі.

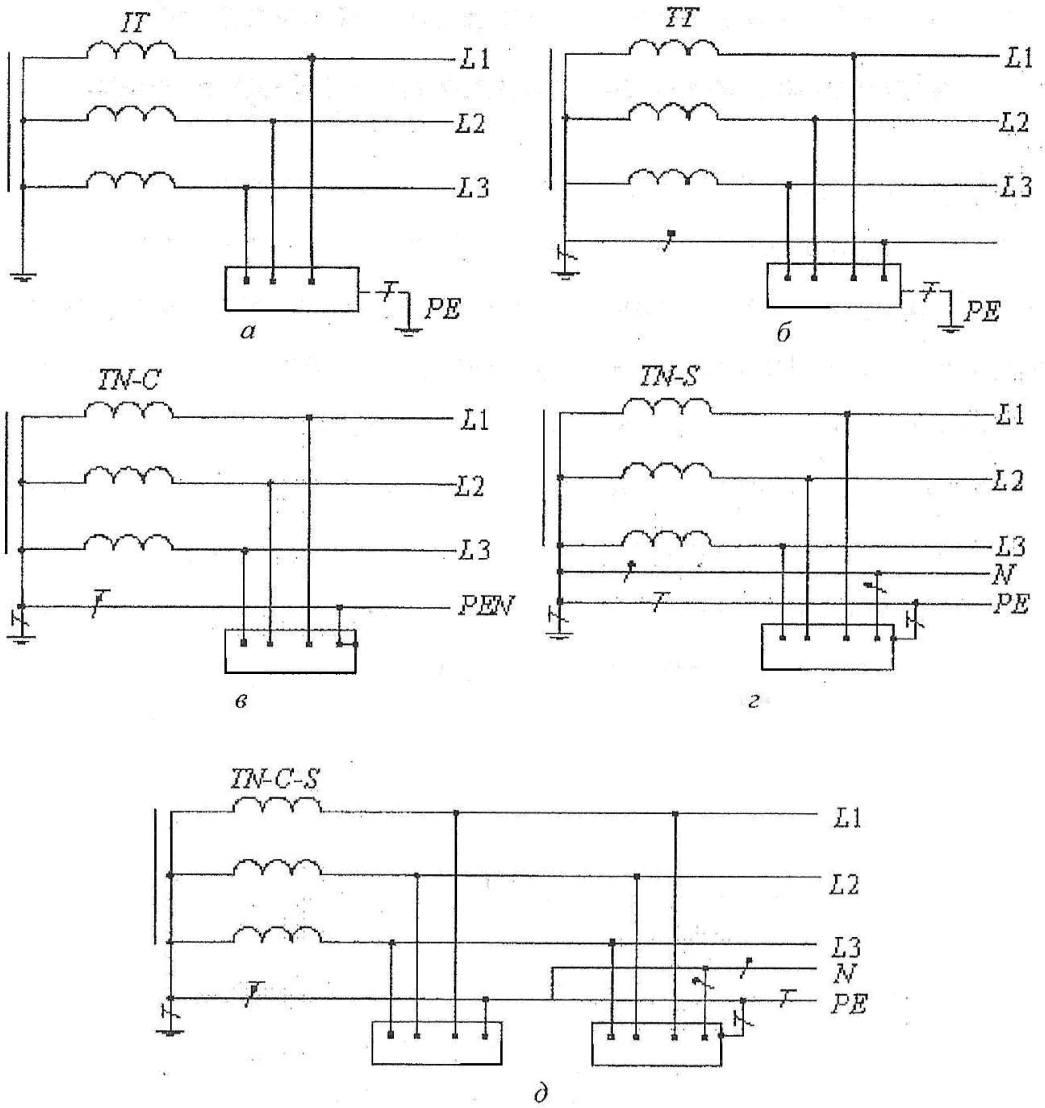



Рис. 2.2. Типи мереж з заземленою нейтраллю (стандарт МЕК 60634-5-54):
а) з ізольованою нейтраллю трансформатора; б) з заземленням корпусів обладнання (TT); в) з заземленим нульовим та робочим заземлюючим провідниками (TN-C); г) з роздільним робочим та нульовим заземляючи ми провідниками (TN-S); д) мережа з поєднанням функції нульового робочого та захисного провідника об'єднані в одному провідникові (PEN) в частині мережі (TN-C-S)

Режим нейтралі мережі вибирають з точки зору забезпечення умов електро-, вибухо- та пожежобезпеки системи електропостачання, а також ряду інших критеріїв: надійності електропостачання, його економічності, внутрішніх перенапруг, роботи пристроїв захисту від однофазних замикань та струмів витоку на землю.

Для мереж напругою до 1000 В експлуатація мереж з ізольованою нейтраллю трансформатора в багатьох випадках буде більш безпечна, ніж мереж з глухозаземленою нейтраллю. Струм через тіло людини в мережі з заземленою нейтраллю $I_{люд} = U_{ф} / R_{люд}$ не залежить від опору ізоляції і ємності мережі. При пошкодженні ізоляції, наприклад, при пробиванні на корпус, з'являється однофазне замикання та поява на корпусах обладнання потенціалів, небезпечних для обслуговуючого персоналу. Тому мережі з ізольованою нейтраллю, при приблизно рівному опорі ізоляції фаз, незалежно від ємності, залишаються більш безпечними.

Однак, однофазне замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю та його довготривале існування, робить експлуатацію її небезпечною, тому що людина, яка доторкнулася до фази з непошкодженою ізоляцією, опиняється під лінійною напругою $I_{люд} = \sqrt{3} U_{ф} / R_{люд}$. Крім цього, підвищення напруги відносно землі, не відбиваючись на роботі електроустановки, сприяє появі подвійних замикань, що завжди призводить до появи небезпечних потенціалів на обладнанні. Тому мережа з ізольованою нейтраллю є більш безпечною лише при постійному контролі стану ізоляції мережі за допомогою спеціальних пристроїв захисного відключення при небезпечному зниженні опору ізоляції. Слід також прийняти до уваги, що при безперервному контролі ізоляції та захисному відключенні мережі, зменшується ймовірність появи відкритих дуг та іскор, що має велике значення для гірничих підприємств, де можлива поява вибухонебезпечної атмосфери.

Виходячи з вище зазначеного, та приймаючи до уваги складні умови роботи електричних мереж, їх більш високу пошкоджуваність на гірничих

підприємствах, мережі напругою до 1000 В експлуатуються з ізольованою нейтраллю. Мережі з заземленою нейтраллю трансформатора на гірничих підприємствах використовуються лише на промислових майданчиках для живлення стаціонарних силових електроустановок поверхні та освітлення, як більш економічні, що не вимагають двох окремих джерел живлення: для силових приймачів напругою 380 В та освітлення напругою 220 В.

В мережах високої напруги (110 кВ і більше) використовують систему з глухозаземленою нейтраллю. В цьому випадку важливим фактором є можливість зменшення рівня ізоляції фаз по відношенню до землі до фазних значень замість лінійного в мережах з ізольованою нейтраллю.

Заземлення нейтралі в цих мережах більш доцільне також з точки зору безпеки. Кожне замикання на землю є коротким замиканням і відключається максимальним захистом, не допускаючи довготривалого існування однофазного замикання на землю і небезпечного розподілу потенціалів поблизу місця замикання. В мережі з ізольованою нейтраллю небезпечні потенціали поблизу замикання на землю можуть існувати довготривало, тому що ємнісний струм замикання може бути недостатнім для спрацювання захисту.

Недоліком системи з заземленою нейтраллю є те, що крізь робочі та захисні заземлення протікають великі струми короткого замикання. Останні повинні розраховуватися на термічну стійкість до струмів короткого замикання, що підвищує їх вартість.

Проходження великих струмів крізь заземлюючі засоби приводить до появи великих потенціалів на заземлюючих контурах, які можуть бути перенесені на заземлене обладнання. Тому заземлення в цих системах не повинно бути одночасно робочим заземленням мереж напругою до 1000 В.

Мережі з $U_н$ = 35 кВ виконуються або з ізольованою нейтраллю, або, як правило, при $I_{зм}$ > 5 А, заземленими через дугогасячий реактор, який зменшує струм однофазного замикання на землю та усуває появу небезпечних крокових напруг, спрощує виконання захисних заземлень.

Мережі з $U_н$ = 6...10 кВ виконують найчастіше з ізольованою нейтраллю. Але при струмах замикання на землю, які перевищують для мережі 6 та 10 кВ відповідно 30 А та 20 А., ПУЕ рекомендують включати в нейтраль мережі компенсуючі пристрої, що зменшує можливі перенапруги та напруги дотику до корпусу обладнання з пошкодженою ізоляцією.

В закордонній практиці знайшли поширення розподільчі мережі з нейтраллю замкнутою на землю через резистор (рис. 2.3). Вмикання резистора в нейтраль мережі призводить до збільшення струму замикання на землю, тому що збільшується сумарна провідність мережі відносно землі. Але напруга дотику зменшується в 1,4...2,7 рази порівняно з мережею з ізольованою нейтраллю, значно зменшується кратність можливої перенапруги в мережі з резистором.

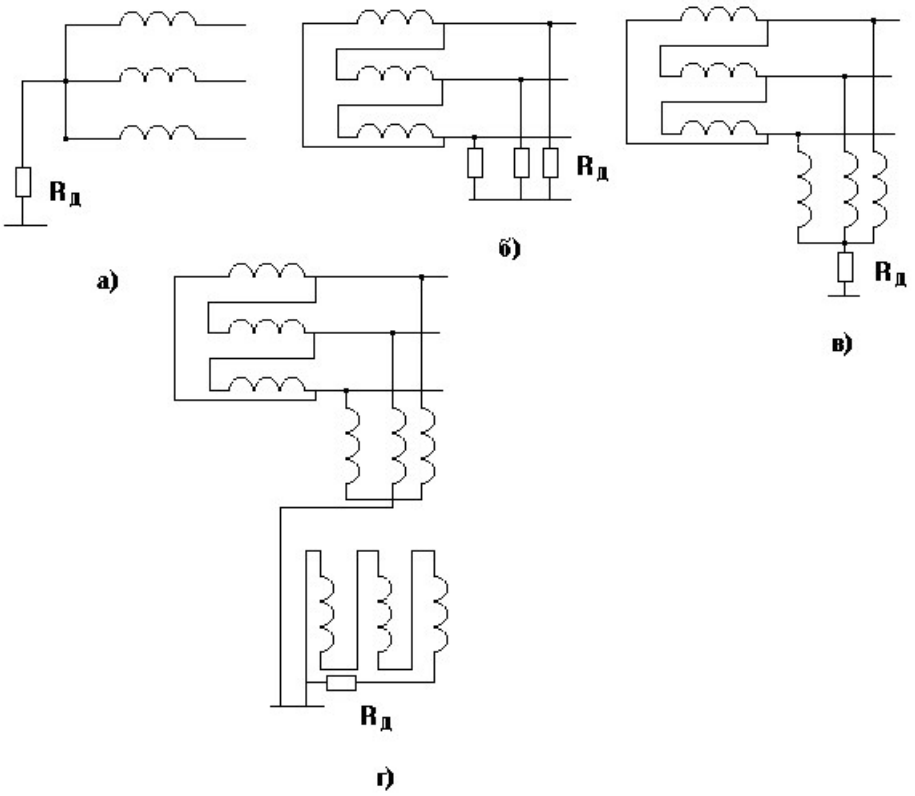



Рис. 2.3. Можливі схеми заземлення нейтралі через активний опір, включений: а) в нейтралі трансформатора; б) між фазами та землею; в) нейтраль спеціального трансформатора; г) в коло спеціального трансформатора “земля”

## 2.5. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора

В даній системі (рис. 2.4) опір ізоляції є одним з основних факторів безпечного використання електроенергії. Опір ізоляції СЕП складається з опору ізоляції елементів мережі: ліній електропередачі, двигунів, електроапаратів та ін. При цьому, кожну одиницю довжини мережі можна уявити як опір ізоляції між проводом і землею. Крім цього, проводи як між собою, так і між кожним проводом і землею мають ємнісний зв'язок. В коротких, з точки зору хвильових процесів, електричних мережах, якими є мережі гірничих підприємств, опори окремих фаз, по відношенню до землі, можна представити зосередженими активними та ємнісними опорами.

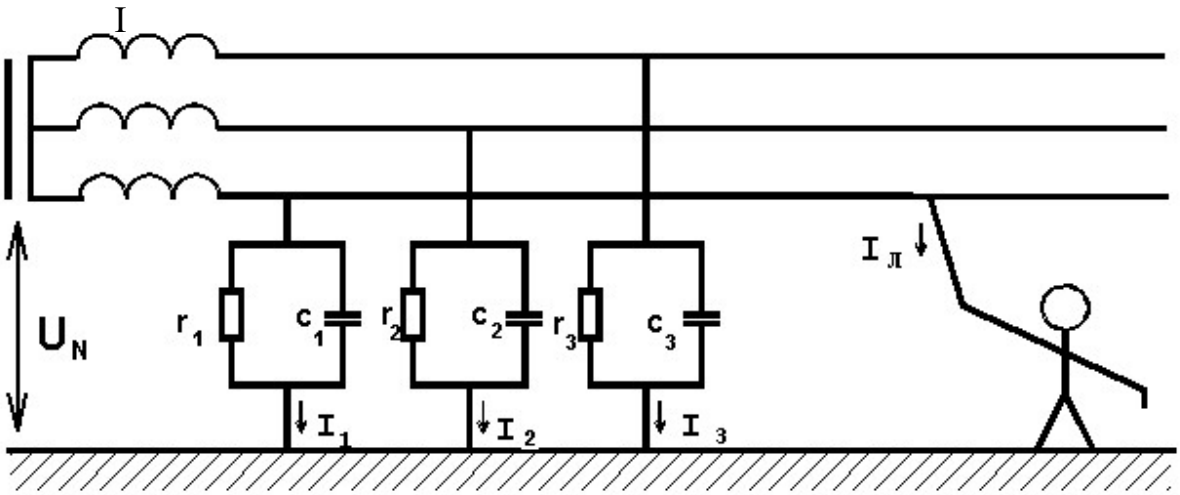



Рис. 2.4. Розрахункова схема мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора

При нормальному режимі роботи мережі, активна і ємнісна провідність окремих фаз по відношенню до землі приблизно рівні між собою, тобто:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r;\ x_1 = x_2 = x_3 = x, \qquad (2.5)$$

де $r_1$, $r_2$, $r_3$ – активний опір відповідних фаз, Ом; $x_1$, $x_2$, $x_3$ – ємнісний опір відповідних фаз, Ом. Або:

$$g_1 = g_2 = g_3 = g = 1/r;\ b_1 = b_2 = b_3 = b = 1/x, \qquad (2.6)$$

де $g_1$, $g_2$, $g_3$ – активна провідність відповідних фаз, См; $b_1$, $b_2$, $b_3$ – ємнісна провідність відповідних фаз, См.

Тоді фазні напруги (рис. 2.5):

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 = \bar{U}_3, \tag{2.7}$$

а струми витоку на землю:

$$\bar{I}_1 = \bar{U}_1 \cdot Y_1,\ \bar{I}_2 = \bar{U}_2 \cdot Y_2,\ \bar{I}_3 = \bar{U}_3 \cdot Y_3, \tag{2.8}$$

де $Y = q - jb$ – загальна провідність, См.

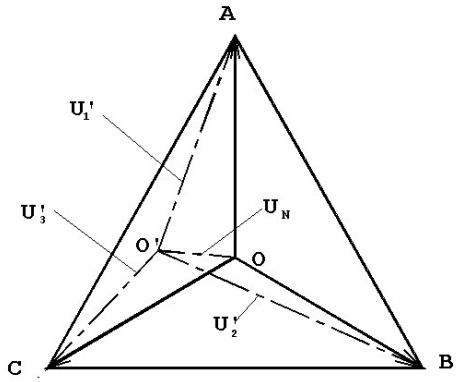



Рис. 2.5. Векторна діаграма напруг мережі із ізольованою нейтраллю

При симетричному опорі ізоляції фаз потенціал нейтралі трансформатора співпадає з потенціалом землі $U_N = 0$.

При торканні людиною до одної з фаз симетрія мережі порушується. Нульова точка приймає нове положення $O^1$. При цьому змінюється і значення фазних напруг:

$$\bar{U}_1{}' = \bar{U}_1 - \bar{U}_N;\ \bar{U}_2{}' = \bar{U}_2 - \bar{U}_N;\ \bar{U}_3{}' = \bar{U}_3 - \bar{U}_N. \tag{2.9}$$

На основі першого закону Кірхгофа: $\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 + \bar{I}_л = 0$, підставляючи значення струмів (2.8):

$$(\bar{U}_1 - \bar{U}_N)Y_1 + (\bar{U}_2 - \bar{U}_N)Y_2 + (\bar{U}_3 - \bar{U}_N)Y_3 + (\bar{U}_1 - \bar{U}_N)Y_{люд} = 0, \tag{2.10}$$

та вирішуючи рівняння можна знайти напругу нейтралі $U_N$ і потім знайти струм через тіло людини. Оскільки в мережі з ізольованою нейтраллю $U_1 = U_2 = U_3$, тоді:

$$\bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3 = 0, \tag{2.11}$$

тому

$$(\bar{U}_1 - \bar{U}_N)Y_л - 3U_N Y = 0, \tag{2.12}$$

звідки

$$\bar{U}_N = \frac{\bar{U}_1 Y_л}{Y_л - 3Y}, \tag{2.13}$$

тоді

$$I_{люд} = (\bar{U}_1 - \bar{U}_N) \cdot G_{люд}, \tag{2.14}$$

де $Y_{люд} = G_{люд}$.

Діюче значення струму через тіло людини в загальному вигляді:

$$I_{люд} = \frac{U_ф G_{люд}}{2} \times$$
$$\times \sqrt{\frac{\left(3\left(g_2 + g_3\right) + \sqrt{3}\left(b_2 - b_3\right)\right)^2 + \left(\sqrt{3}\left(g_2 - g_3\right) + 3\left(b_2 + b_3\right)\right)^2}{\left(g_1 + g_2 + g_3 + G_{люд}\right)^2 + \left(b_1 + b_2 + b_3\right)^2}} \tag{2.15}$$

Проведемо аналіз цього виразу. Приймемо, як окремий випадок, що електроустановка має коротку електричну мережу, коли величина ємнісної провідності ізоляції по відношенню до землі невелика і нею можна знехтувати, тобто $b_1 = b_2 = b_3 = 0$. Але в умовах сирих виробок та поганого обслуговування мережі якість ізоляції може значно знизитися $g_1 = g_2 = g_3 = 1/r$, і не враховувати це зниження не можна. Приймаємо: $G_{люд}=1/R_{люд}$.

Якщо ці параметри підставити у вище наведений вираз, то можна одержати залежність, що:

$$I_{люд} = \frac{3U_ф}{3R_{люд} + r}. \tag{2.16}$$

Якщо задатися допустимим значенням безпечного струму $I_{ДБ}$ для людини, можна знайти мінімальне значення безпечного опору ізоляції:

$$r = \frac{3U_ф}{I_{дб}} - 3R_{люд}. \tag{2.17}$$

Це значення можна прийняти як уставку спрацювання захисту.

Для мережі з номінальною напругою $U_н$ = 380 В, при опорі людини $R_{люд} = 1000$ Ом, та тривалому безпечному струмі $I_{трив.без.}$ = 0,03 А граничне значення опору ізоляції r = 19000 Ом. При $U_н$ = 660 В – r = 35000 Ом.

При експлуатації довгих електромереж ємністю нехтувати не можна. Припустимо, що активний опір ізоляції залишається досить високим, тобто $g_1 = g_2 = g_3 = g = 0$, а ємнісна провідність $b_1 = b_2 = b_3 = b = 1/x = \omega C$. Тоді із загального виразу для струму через тіло людини можна одержати:

$$I_{люд} = \frac{3U_Ф}{\sqrt{9R_{люд}^2 + x_c^2}} = \frac{3U_Ф \omega C}{\sqrt{9R_{люд}^2 \omega^2 C^2 + 1}}. \qquad (2.18)$$

Для мережі 380 В із звичайною ємністю мережі С = 1 мкФ/фазу при $R_{люд} = 1000$ Ом струм через тіло людини $I_{люд}$ = 0,15 А.

Для мережі 6000 В при аналогічних умовах $I_{люд}$ = 2,36 А.

Таким чином, наявність тільки одної складової (ємність мережі по відношенню до землі) при торканні людини до струмоведучих елементів призводить до тяжких електротравм. На практиці мають місце мережі, що мають як значну активну, так і ємнісну провідність, коли:

$$g_1 = g_2 = g_3 = 1/r,\ b_1 = b_2 = b_3 = 1/x. \qquad (2.19)$$

Для цих умов із загального виразу для струму через людину:

$$I_{люд} = \frac{U_ф}{R_{люд}\sqrt{1 + \frac{r\left(r + 6R_{люд}\right)}{9R_{люд}^2\left(1 + \omega^2 C^2 r^2\right)}}}. \qquad (2.20)$$

Для мережі напругою 380 В з ємністю 1 мкФ/фазу, при $R_{люд}$ = 1000 Ом та $r = 19000$ Ом, струм через тіло людини $I_{люд}$ = 0,14 А. Як видно з цього прикладу, при ємності фази по відношенню до землі 1 мкФ/фазу, що характерно для дільничних мереж гірничих підприємств, навіть при відносно високому опорі ізоляції мережі доторкання людини до струмоведучого каналу, є смертельно небезпечним. Наявність ємності в даному випадку підвищує струм через людину в 4,7 рази. Тобто, небезпека враження людини струмом визначається в основному ємністю мережі.

Мінімальне значення активного опору (критичного опору) при певних значеннях ємності мережі, що обмежує струм через людину до безпечного $I_{д.б.} = 0,03$ А, наведено на рис. 2.6.

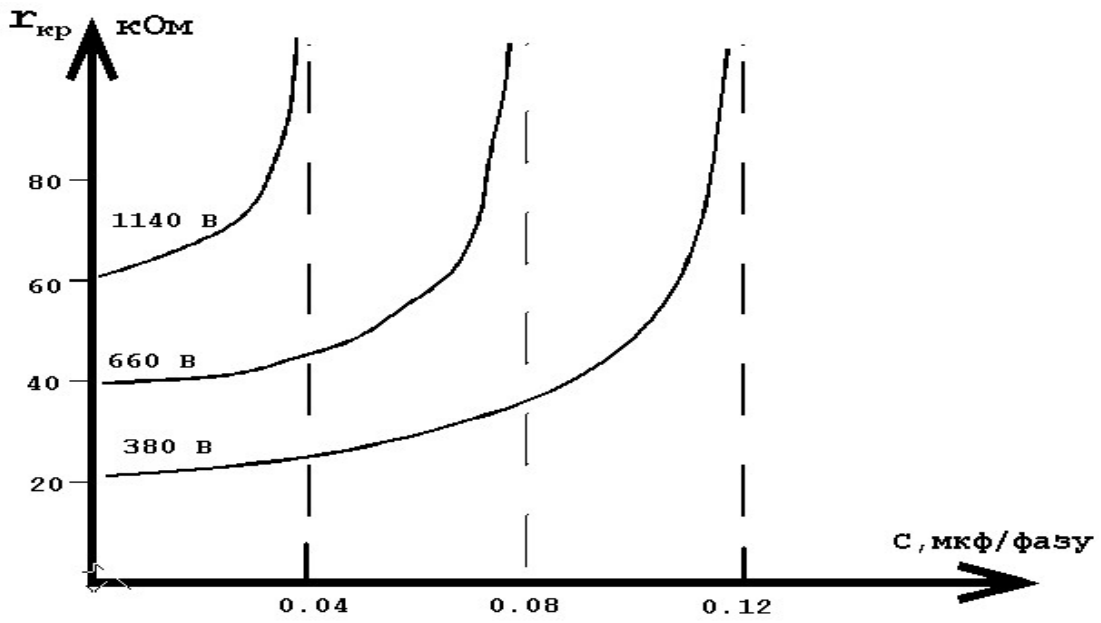



Рис. 2.6.Залежність критичного опору ізоляції від ємності фази мережі по відношенню до землі

Суттєвий ефект стосовно підвищення електробезпеки може дати використання швидкодіючого захисту, що обмежує час дії струму на людину, а також суттєві зниження ємності мережі за рахунок її повної чи часткової компенсації. Крім того, контроль стану ізоляції повинен бути неперервним і поширюватися на всю електрично пов'язану мережу. При зниженні опору ізоляції до критичного значення, електрична мережа повинна відключатися.

При експлуатації електроустановок, активний опір ізоляції змінюється в різних фазах по різному. При цьому, може трапитися, що опір ізоляції однієї з фаз буде значно меншим, ніж в двох інших фазах, тобто:

$$g_1 \neq g_2 \neq g_3,\ b_1 = b_2 = b_3 = 0, \qquad (2.21)$$

$$I_{люд} = \frac{U_ф G_{люд}}{2}\sqrt{\frac{9\left(g_2+g_3\right)^2 + 3\left(g_2-g_3\right)^2}{\left(g_1+g_2+g_3+G_{люд}\right)^2}}\,. \qquad (2.22)$$

Аналіз цього рівняння показує, що величина струму через людину, при незмінних $g_2$ та $g_3$, визначається в значній мірі величиною $g_1$ фази, до якої доторкнулася людина. Приймемо $g_2 = g_3$ та введемо поняття коефіцієнту несиметрії $k=r_1/r$, тоді:

$$I_{люд} = \frac{3U_ф k}{R_{люд}(2k+1) + kr}. \qquad (2.23)$$

При доторканні людини до фази з значним зниженням опору ізоляції ($k < 1$), струм $I_{люд}$ буде меншим, ніж при доторканні каналу установки з симетричним опором (k = 1). Граничним найбільш небезпечним є випадок доторкання до каналу, що має безмежно великий опір ($k \to \infty$). Граничним випадком несиметричного стану ізоляції є глухе замикання одної фази на землю. При доторканні людини до фази з пошкодженою ізоляцією, струм через тіло людини дорівнює нулю, а при доторканні до фази з непошкодженою ізоляцією, людина практично знаходиться під лінійною напругою.

## 2.6. Умови безпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю трансформатора

В системі з заземленою нейтраллю трансформатора (рис. 2.7), при нормальному стані мережі, напруга кожної фази, по відношенню до землі, дорівнює фазній напрузі. Торкнувшись до будь-якої з фаз, людина опиняється під фазною напругою. Струм через людину:

$$I_{люд} = \frac{U_ф}{R_{люд} + r_р + r_0} \cong \frac{U_ф}{R_{люд}}, \qquad (2.24)$$

де $r_р$ – опір розтікання струму на землю, Ом; $r_0$ – опір робочого заземлення нейтралі трансформатора, Ом.

Тобто, величина ємності мережі по відношенню до землі і величина опору ізоляції не грають ролі.

У випадку замикання одної з фаз на землю та при торканні людини до іншої фази, якщо прийняти, що $r_0 \to 0$, то напруга між нейтраллю і землею буде визначатись, як (рис. 2.6):

$$U_0 = \bar{I}_{зм} r_0 \to 0\,,\ \bar{U}_{зм} = \bar{U}_1 - \bar{U}_0 = \bar{U}_1\,. \qquad (2.25)$$

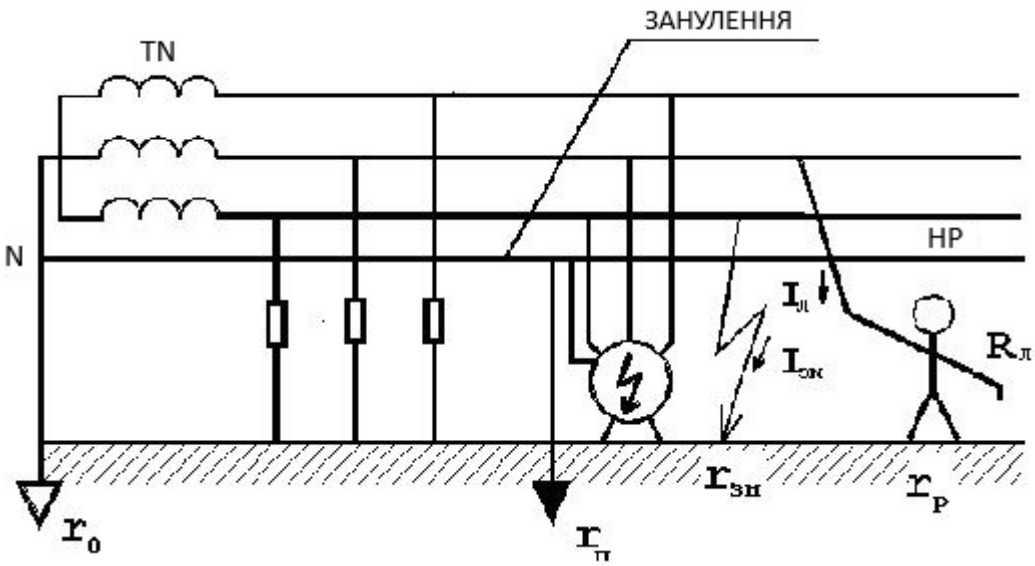



Рис. 2.7. Розрахункова схема мережі з заземленою нейтраллю трансформатора

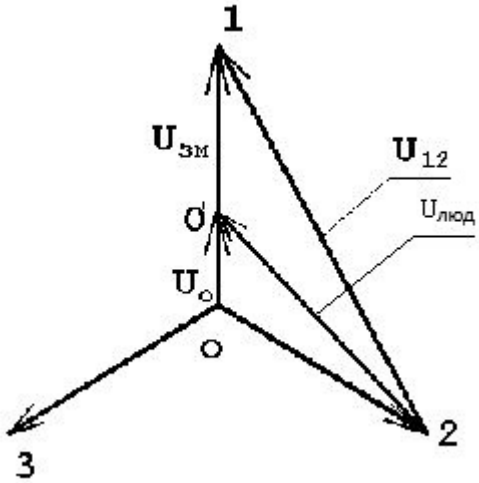



Рис. 2.8. Векторна діаграма напруг

Тоді прикладена напруга до людини, що доторкнулась до струмопроводу:

$$\bar{U}_{люд} = \bar{U}_2 - \bar{U}_0 = \bar{U}_2\,. \qquad (2.26)$$

Отже, людина опиняється під фазною напругою.

В дійсності опір робочого заземлювача $r_0$ не дорівнює нулю (в мережі 380 В, $r_0$ = 4 Ом). В цьому випадку $\bar{U}_{зм} = \bar{I}_{зм} r_{зм}$, а нульова точка переміщається в точку $O^{/}$, при цьому $\bar{U}_0 = \bar{I}_{зм} r_0$.

Напруга, під якою опиняється людина, в дійсності буде трохи більше фазної:

$$\bar{U}_{люд} = \bar{U}_{12} - \bar{U}_{зм}, \tag{2.27}$$

або з трикутника $O\,O^{/}\,2$ абсолютне значення:

$$U_{люд} = \sqrt{U_0^2 + U_2^2 - 2U_0U_2\cos 120^0}, \tag{2.28}$$

тобто

$$U_O = \sqrt{U_0^2 + U_{тм}^2 + U_0U_{тм}} \tag{2.29}$$

залежить від співвідношення опорів $r_0$ та $r_{зм}$.

Перевагою системи з глухозаземленою нейтраллю трансформатора є те, що замикання будь-якої фази на землю є коротким замиканням, яке одразу повинно селективно відключатися максимальним захистом. Однак це твердження є справедливим для мереж з напругою вище 1000 В. Дійсно, струм замикання на землю:

$$I_{зм} = \frac{U_л}{\sqrt{3}\left(r_0 + r_{зм}\right)}. \tag{2.30}$$

Приймаючи до уваги можливі значення опорів $r_0$ та $r_{зм}$, прості розрахунки показують, що в мережах до 1000 В струм замикання на землю має величину одного порядку з робочими струмами мережі і, навіть, може бути меншим, тобто недостатнім для спрацювання максимального захисту.

Виходячи з цього, ПУЕ вимагають обов’язкового металевого зв’язку корпусів електрообладнання з заземленою нейтраллю (спосіб занулення). В цьому випадку $r_{зм} \approx 0$ і струм короткого замикання значно підвищується. Крім того, нульовий провід багаторазово заземлюється за рахунок повторних заземлювачів поблизу електроспоживачів (рис. 2.7). Не допускається заземлення корпусів без їх

занулення, тобто, в вітчизняних електроустановках не допускається система ТТ (рис. 2.2, б), що відповідає стандарту МЕК 60364-5-54.

Позитивним для системи з зануленням є те, що від одної мережі можуть одночасно живитися як силові трифазні електроспоживачі, так і однофазні (освітлення, нагрівальні установки та ін.).

Недоліком системи з зануленням є те, що в ній не забезпечується безпека людини, що доторкнулася струмоведучого елементу. Крім того, нульовий провід робить винос потенціалу на все занулене електрообладнання.

## Контрольні запитання

*1. Яку дію електричний струм спричиняє на організм людини? Як розділяють загальні та місцеві електротравми?*

*2. Які фактори, що впливають на уражуючу здатність електричного струму? Які порогові значення основних факторів?*

*3. Наведіть класифікацію електричних мереж за системою заземлення нейтралі джерела живлення та електроприймачів. Навести принципові схеми (IT, TT, TN-C, TN-C-S, TN-S).*

*4. Охарактеризуйте умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю джерела живлення. Вплив на електробезпеку опору ізоляції відносно землі, ємності мережі відносно землі та часу дії струму.*

*5. Умови електробезпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю, занулення, контроль опору кола «фаза-нуль», переваги та недоліки мережі TN.*

*6. Як виконується вибір режиму нейтралі джерела живлення?*

# ЛЕКЦІЯ 3. Організаційні та технічні засоби захисту

3.1. Засоби захисту від вражень електричним струмом.

3.2. Електрична ізоляція як головний фактор електробезпеки.

3.3. Захист від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу сторону.

3.4. Захисні заземлення та їх виконання.

3.5. Розрахунок захисних заземлень.

## 3.1. Засоби захисту від уражень електричним струмом

Основним напрямком підвищення рівня електробезпеки є системний підхід до вирішення проблеми, який повинен включати розробку ефективних заходів електробезпеки як на стратегічну перспективу, так і на розробку шляхів, методів та технічних засобів вирішення поточних задач електробезпеки, що склалася в існуючих електричних мережах та електроустановках. Основною задачею є створення електричних мереж та електроустановок з гарантованим рівнем безпеки. Такі мережі повинні мати малі струми КЗ та замикання на землю. Для них повинні бути розроблені та використані нові схемнотехнічні рішення, тобто схемнотехнічні рішення з необхідними характеристиками, які дозволяють, без втручання автоматики чи людини, підтримувати параметри режиму на заданому рівні, який гарантує електробезпеку.

Комплексна система електробезпеки на підприємствах забезпечується використанням сукупності технічних засобів та організаційно-технічних заходів, які можна об’єднати в наступні групи:

1. Конструктивні засоби та заходи, що направлені на забезпечення безпечних властивостей електрообладнання. В залежності від умов роботи електрообладнання приймають його відповідні рівень та види виконання і засоби його безпечної експлуатації. До цієї групи відносяться також заходи:

- по забезпеченню недоступності доторкання до струмоведучих елементів (розташування на недоступній висоті шин та проводів, огорожа електроустановок та ін.);

- захист від випадкового доторкання до елементів зі струмом (розміщення обладнання в закритих корпусах; блокування, що запобігає відкриванню обладнання за наявності струму та ін.);

- використання пониженої напруги для кіл керування та захисту, для живлення ручного та переносного електрообладнання;

- ізолювання не струмоведучих частин – «подвійне ізолювання»;

- вирівнювання потенціалів (при роботі на ЛЕП під напругою, металеві доріжки та ін.).

2. Організаційно-технічні заходи, що направлені на забезпечення нормальних умов експлуатації та обслуговування електрообладнання. В склад цієї групи входять:

- роз’яснювальна робота серед працівників про небезпеку електричного струму;

- навчання обслуговуючого персоналу на робочих місцях;

- періодична перевірка знання правил безпеки та вимог посадових інструкцій;

- використання засобів попередження про небезпеку (написи, розцвічення, маркування, таблички з найменуванням обладнання, попереджувальні плакати та ін.);

- використання персоналом, що працює на електроустановках, спеціальних засобів (інструментів для роботи під напругою: ізолюючі штанги, захвати, інструмент з ізольованими ручками; приладів для виявлення напруги та її вимірювання; засобів ізоляції людини: ізолюючі драбини та площадки, діелектричні рукавиці, боти, килимки, ізолюючі підставки; запобіжних засобів – захисні окуляри, пояси, каски та ін.);

- оформлення робіт на електроустановках нарядами та розпорядженнями та ін.

3. Організація системи контролю за станом електрообладнання (системи огляду, ревізії обладнання, відновлення або заміна пошкоджених елементів, контролю параметрів електроустановок та їх відхилення від стандартів та ін.).

4. Спеціальні заходи – виконання захисту та захисного відключення (від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу, захисне заземлення, захист від струму витоку на землю, захист від струмів КЗ, температурний захист, відокремлене живлення підземної мережі, компенсація ємності мережі відносно землі, автоматичне закорочування на землю пошкодженої фази та ін.).

## 3.2. Електрична ізоляція як головний фактор електробезпеки

Електрична ізоляція є загальним, хоч і не достатнім, засобом запобігання всіх видів небезпеки електричного струму (вибухів, пожеж, ураження людей струмом). Тому удосконалення ізоляції є не менш важливим напрямком забезпечення електробезпеки, ніж вдосконалення вибухобезпеки обладнання, іскробезпеки та інших засобів захисту.

Стан ізоляції електроустановок є одним з головних факторів, що визначають безпеку експлуатації електротехнічного устаткування.

Фізична сутність ізоляції, як засобу захисту, полягає в запобіганні можливості попадання напруги на неструмоведучі частини, створення між струмоведучими частинами, що знаходяться під напругою, та оточуючим їх середовищем ізолюючого шару.

В якості електроізоляції в електрообладнанні гірничих підприємств використовують органічні та неорганічні матеріали. Забезпечення надійності ізоляції досягається правильним вибором її матеріалу; форми, обумовленої величиною напруги; конструкцією електрообладнання; правильною оцінкою умов

експлуатації (температура, вологість, агресивність середовища, наявність пилу та ін.); ефективною профілактикою в процесі експлуатації.

З органічних матеріалів широко використовуються полімери та різні пластмаси на їх основі, гуми, компаунди, лаки, папір, волокнисті матеріали, а з неорганічних – слюда, кераміка, скловолокно, азбест.

Поряд з електроізоляцією додатково використовують й інші захисні засоби, наприклад, ізоляційне фарбування металевих частин обладнання, які нормально не знаходяться під напругою, але можуть бути під нею внаслідок пошкодження основної ізоляції (так звана захисна ізоляція). Захисною ізоляцією можуть служити лаки, смоли, електроізолюючі плівки і навіть емалеві фарби.

Однією із причин зниження надійності електрообладнання в умовах експлуатації є зниження електричної та механічної міцності ізоляції до недопустимої величини, що обумовлено малим коефіцієнтом запасу міцності або невідповідністю типу ізоляції фактичним умовам експлуатації.

В рудниковому електрообладнанні повинна виконуватись ізоляція, що задовольняє вимогам високої електричної та механічної міцності, негорючості, стійкості до впливу тепла, вологи, а іноді і мастил, лугостійкості та стійкості до поверхневих розрядів (для запобігання випадків пробою ізоляції на корпус, появи відкритих електричних розрядів та небезпечних місць нагріву).

Згідно з Правилами безпеки електрообладнання, що працює в шахтах, повинно мати активний опір відносно землі не нижче наступних норм, МОм:

- електродвигунів добувних і прохідницьких машин – 0,5;

- електродвигунів інших машин, освітлювальних трансформаторів, пускових агрегатів, ручних свердл –1,0;

- пускової та розподільчої апаратури, броньованих та гнучких кабелів будь-якої довжини (на фазу) – 1,0.

Встановлені норми критичного опору ізоляції мережі, при яких вона повинна відключитися захистом, в залежності від напруги мережі складають не менше, ніж:

- за напруги 127 В – 3,3 кОм на фазу;

- за напруги 220 та 380 В – 10 кОм на фазу;

- за напруги 660 В – 30 кОм на фазу;

- за напруги 1140 В – 60 кОм на фазу.

Ємність електричної мережі змінного струму напругою до 1140 В повинна бути не більше 1 мкФ на фазу, тобто 3,18 кОм на фазу.

Вимірювання опору ізоляції електрообладнання та кабелів повинно виконуватись перед включенням їх після монтажу та перенесення, після аварійного відключення захистом, після довгострокового перебування без роботи або якщо реле витоку на землю не дозволяє включити мережу під напругу. Електрообладнання та кабелі, опір ізоляції яких не відповідає нормам, повинні відключитися від мережі для проведення профілактичних заходів по підвищенню опору ізоляції (протирання ізоляторів, ізоляційних панелей, проводів, сушка, видалення пилу, бруду та ін.). Оскільки в умовах шахтної атмосфери ізоляція електроустановок швидко зволожується, час знаходження її без напруги не повинен бути більше двох діб.

## 3.3. Захист від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу сторону

При пошкодженні ізоляції обмотки вищої сторони трансформатора, можлива поява підвищеної напруги на корпусах обладнання або на вторинній обмотці трансформатора, що може призвести до пробоїв на корпуси машин і апаратів на стороні нижчої напруги та нещасних випадків.

Особливу небезпеку становлять переносні трансформатори, переносне обладнання та інструменти, вимірювальні трансформатори. При цьому слід розглянути чотири можливі варіанти (рис. 3.1).

**1 ВАРІАНТ**. Мережа вищої та нижчої сторін трансформатора мають глухозаземлену нейтраль.

Перехід напруги вищої сторони на нижчу є рівноцінним однофазному короткому замиканню на землю в мережі вищої напруги. Спрацьовує захист від струмів короткого замикання в мережі вищої напруги і відключає пошкоджений трансформатор.

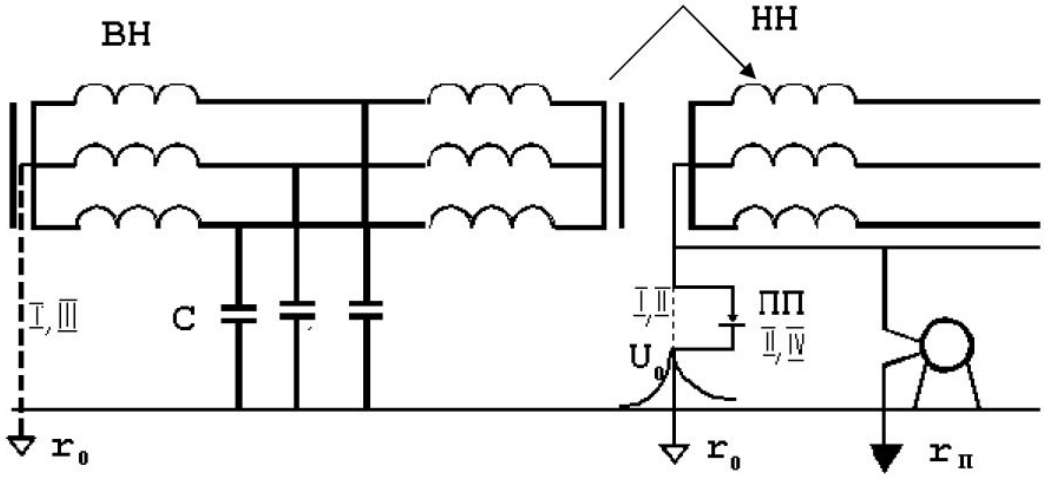



Рис. 3.1. Схема реалізації принципу захисту від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу

**2 ВАРІАНТ**. Мережа вищої напруги має ізольовану нейтраль трансформатора, мережа нижчої напруги – заземлену нейтраль.

При переході напруги на вторинну сторону через заземлення нейтралі вторинної обмотки, буде протікати струм однофазного замикання на землю, обумовлений величиною ємності мережі вищої напруги по відношенню до землі.

Для забезпечення безпеки роботи обладнання і персоналу потрібно підібрати опір робочого заземлення $r_0$ таким чином, щоб напруга доторкання не перевищувала допустимих значень:

$$U_0 = I_з r_0 \le U_{0доп}. \quad (3.1)$$

Величину $r_0$ вибирають із залежності:

$$r_0 = 125/I_з, \quad (3.2)$$

де: $r_0$ – опір робочого заземлення, Ом; $I_з$ – струм замикання на землю, А.

Вибраний таким чином опір робочого заземлення забезпечує захист обладнання і персоналу.

**3 ВАРІАНТ**. Мережа вищої сторони має заземлену нейтраль, мережа нижчої сторони – ізольовану нейтраль.

Для захисту нейтраль вторинної обмотки трансформатора замикається на землю через пробивний запобіжник. Він являє собою дві металеві обкладки, між якими знаходиться діелектрична прокладка із слюди. При переході вищої напруги на нижчу сторону, пробивний запобіжник пробивається. Після цього нижча сторона має заземлену нейтраль. Таким чином, має місце варіант 1 та спрацювання захисту від струмів КЗ на стороні вищої напруги, який вимикає пошкоджений трансформатор.

**4 ВАРІАНТ**. Мережа вищої сторони має ізольовану нейтраль, мережа нижчої сторони – ізольовану нейтраль (через пробивний запобіжник).

При переході вищої напруги на нижчу сторону, пробивається пробивний запобіжник і захист персоналу і обладнання забезпечується за рахунок підбору відповідного значення робочого заземлення $r_0$ , тобто має місце варіант 2.

Такий захист використовується на підстанціях кар'єрів, при будівництві міських підземних споруд та ін.

Як захід захисту від переходу напруги вищої сторони на нижчу сторону вимірювальних трансформаторів може бути замикання одної з клем вторинної обмотки на землю. Тому, при доторканні людини до другої клеми і появі струму замикання на землю $I_з$ (рис. 3.2), до людини прикладається напруга дотику:

$$\bar{U}_{дот.} = \bar{U}_з + \bar{U}_{нг}, \qquad (3.3)$$

де $\bar{U}_з = \bar{I}_з r_0$.

Напруга дотику при цьому повинна бути не більшою допустимого значення:

$$U_{дот} = U_з + U_{н2} < U_{дот.доп}. \qquad (3.4)$$

Безпека людини буде гарантуватися, якщо буде виконуватися ця умова. Якщо вона не виконується, тоді можливі два випадки:

- якщо $U_{н2} > U_{дот.доп}$ – замикання однієї з клем допускається, тому що використовуються спеціальні профілактичні засоби запобігання ураження людини електричним струмом;

- якщо $U_{н2} < U_{дот.доп}$, а вищезазначена умова не виконується, то замикання однієї з клем на землю є недоцільним.

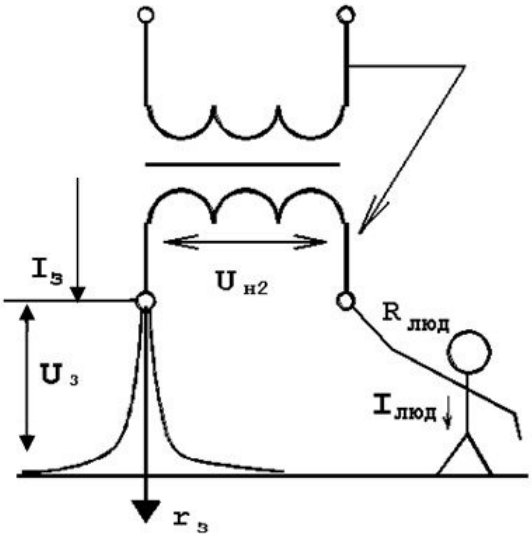



Рис. 3.2. Розрахункова схема захисту від переходу напруги вищої сторони вимірювального трансформатора на його нижчу сторону

В шахтних електроустановках широко використовується іскробезпечні кола: кола дистанційного керування, вимірювання, зв'язку. Вони живляться пониженою напругою (18 В), мають спеціальне джерело живлення обмеженої потужності.

При пробої ізоляції первинної обмотки трансформатора цього джерела та переході первинної напруги на вторинну, порушується іскробезпека кіл. Як захід захисту, часто в таких системах приймається екранна заземлена обмотка (рис. 3.3). В трансформаторі з Ш-подібним магнітопроводом обидві обмотки розташовуються на середньому стрижні магнітопроводу та намотуються на спільний каркас (одна обмотка зовні іншої). За наявності екранної обмотки вона намотується як проміжний шар між первинною та вторинною обмотками, один кінець екранної обмотки заземлюється. У випадку пошкодження ізоляції

первинної обмотки, напруга потрапляє на екранну обмотку не досягаючи вторинної обмотки.

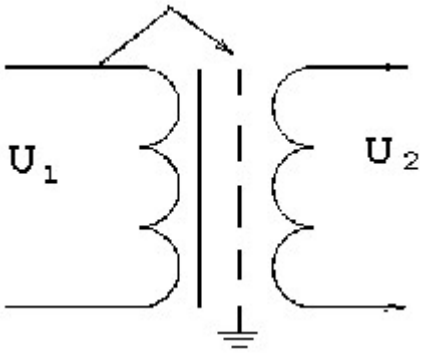



Рис. 3.3. Схема захисту від переходу вищої напруги за допомогою екранної обмотки

## 3.4. Захисні заземлення та їх виконання

На відміну від робочого заземлення (заземлення нейтралі трансформатора), захисне заземлення забезпечує захист персоналу від уражень електричним струмом у випадку появи напруги на корпусах електрообладнання після пошкодження ізоляції. В мережі з ізольованої нейтраллю струм однофазного витоку на землю:

$$I_0 = \frac{3U_\phi}{3r'_{\text{вит}} + r}, \tag{3.5}$$

де $r'_{\text{вит}}$ – опір кола однофазного витоку на землю, Ом.

Складовою цього опору можу бути опір захисного заземлення та опір людини, яка доторкнулась до корпусу електрообладнання з пошкодженою ізоляцією, що включені паралельно:

$$r'_{\text{вит}} = \frac{R_{\text{люд}} r_{\text{з}}}{R_{\text{люд}} + r_{\text{з}}}. \tag{3.6}$$

При цьому струм складових опору витоку на землю:

$$I_{\text{люд}} = I_0 \frac{r_{\text{з}}}{R_{\text{люд}} + r_{\text{з}}}. \tag{3.7}$$

Звідси видно, що якщо $r_з \to 0$, то $I_{люд} \to 0$.

Тобто ефект захисту персоналу виконується за рахунок шунтуючої дії захисного заземлення по відношенню до людини. Приймаючи до уваги, що допустима напруга дотику для геотехнічних підприємств $U_{дот.доп}$ = 40 В, а струм замикання на землю в шахтних мережах не перевищує 20 А, мінімальне значення опору захисного заземлення в найвіддаленішій точці:

$$r_з \le \frac{U_{дот.доп}}{I_{з\,max}} \le \frac{40\ B}{20\ A} \le 2\ Ом. \qquad (3.8)$$

Правила безпеки вимагають заземлення корпусів всього електротехнічного обладнання, на якому може з'явитись напруга через пошкодження ізоляції, а також заземлення оболонок броньованих кабелів та обладнання, яке не є частиною електроустановок, але на якому можлива поява напруги при відповідних обставинах та пошкодженнях електроустановки.

В шахтах, небезпечних за газом та пилом, для захисту від накопичення статичної електрики, заземлюються поодинокі металеві повітропроводи та пневматичні вентилятори.

Захисне заземлення виконується шляхом приєднання металевих частин електрообладнання до заземлених електродів (заземлювачів) за допомогою заземлюючих провідників.

До складу системи заземлення в підземних виробках шахт та рудників входять: місцеві заземлювачі; головні (центральні заземлювачі); заземлююча мережа.

Місцеві заземлювачі в гірничих виробках, де є водостічні канавки, можуть бути стрічковими. Вони виконуються у вигляді металевих стрічок з площею не меншою 0,6 м$^2$, товщиною не менше 3 мм, довжиною не менше 2,5 м. Їх виконують біля кожного розподільчого пункту, муфт кабелів, підстанцій та ін. (рис. 3.4).

Якщо гірничі виробки сухі, місцевим заземлювачем може бути труба діаметром не менше 30 мм, та довжиною 1,5 м. Труби розміщуються у вологі або

регулярно зволожувані свердловини. Проміжок між трубою та стінками свердловини заповнюється сумішшю піску із сіллю і періодично зволожується.

Правила безпеки дозволяють в якості місцевих заземлювачів приймати аркове металеве кріплення (не менше 3-х арок, які з'єднуються за допомогою з'єднувального металевого тросу або стрічки з поперечним перерізом не менше 50 мм$^2$ для сталі та 25 мм$^2$ для міді).

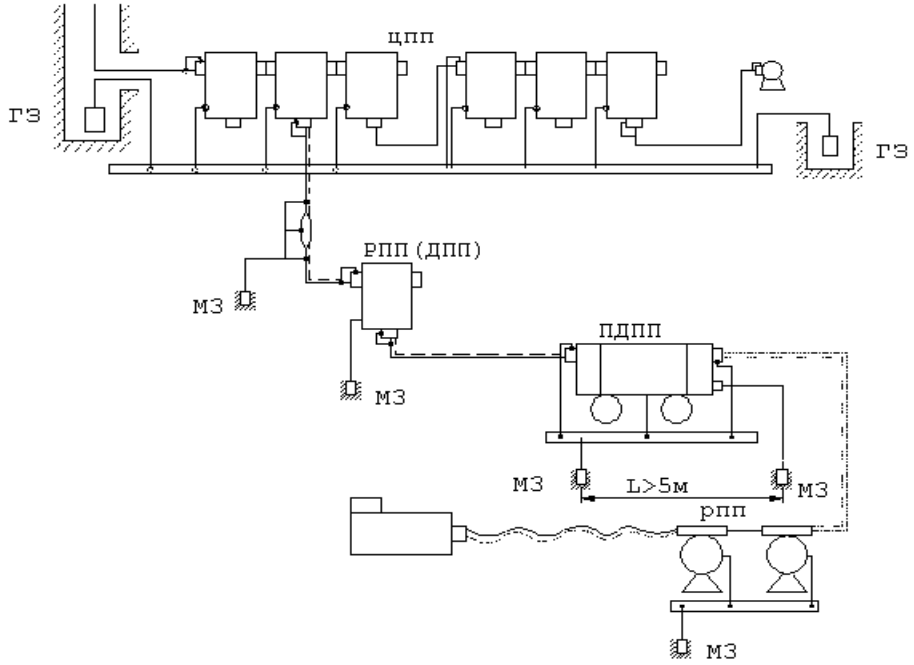



Рис. 3.4. Принципова схема заземлюючоі мережі в підземних виробках

Головні заземлювачі розміщуються у виробках навколостовбурного двору (не менше двох). Їх розміщують у водозбірнику та у зумпфі стовбура. Вони являють собою сталеві листи площею не менше 0,75 м$^2$, товщиною не менше 5 мм, довжиною 2,5 м. Опір їх не перевищує 0,5...2 Ом.

Усі заземлювачі об'єднані в єдину систему (рис. 2.12), тобто включені паралельно. Між собою вони з'єднуються за допомогою заземлюючої мережі (броня та герметична оболонка кабелю).

Пересувні машини приєднуються до заземлюючої мережі за допомогою заземлюючої жили гнучкого кабелю (опір не більше 1 Ом), що живить пересувну машину. Для пересувних машин та вибійних конвеєрів повинен передбачатись неперервний контроль заземлення.

Загальний опір заземлення в найбільш віддаленій точці не повинен перевищувати 2 Ом.

Ця вимога стосується також системи заземлення на будівельних майданчиках міського підземного будівництва. В ролі головного заземлювача тут використовують заземлюючий контур комплектних трансформаторних підстанцій на поверхні, повторні заземлювачі закладають в зумпфі та водозбірнику в навколостовбурному дворі (сталевий лист площиною не менше 0,75 м$^2$), та місцеві заземлювачі (трубчаті). Допускається використовувати в ролі заземлювачів металічну обробку тунелів, яка в цьому випадку повинна входити в єдину загальношахтну заземлюючу мережу. При кріпленні тунелів збірним або монолітним залізобетоном, в виробці прокладається збірний заземлюючий провідник.

При будівництві тунелів відкритим способом, заземлювачами служать контур підстанції або металеві палі кріплення котловану.

На діючих метрополітенах, у зв'язку з тим, що при вимкненні компенсуючих установок центрів живлення міських мереж 6...10 кВ, струми замикання на землю досягають 700...1000 А, а заземлюючі конструкції електроустановок 6...10 кВ мають зв'язок з заземленням мережі постійного струму 825 В, опір заземлюючої системи не повинен перевищувати 0.5 Ом.

В цьому випадку підстанція ніби вміщена в об'ємний контур, де реалізуються два захисні заходи – захисне заземлення та вирівнювання потенціалів.

Для підземних підстанцій з тюбінговою чавунною обробкою тунелю контуром заземлення служать вказані тюбінги, які з'єднуються між собою кількома вирівнювальними кільцями, що являють собою сталеві шини, прокладені по всьому периметру тунелю. Для підземних підстанцій в бетонних тунелях та підстанцій в нижніх частинах вестибюлів станцій в якості заземлювачів використовують металеві палі та інші будівельні конструкції, закладені в період будівництва станції.

Електричні мережі 6 кВ кар'єрів мають ізольовану нейтраль трансформатора та струм замикання на землю, що не перевищує 30 А. Тому для електроустановок кар'єрів Правила Технічної Експлуатації (ПТЕ) рекомендують виконання загальної заземлюючої мережі для установок напругою до 1000 В та вище.

Виконання захисного заземлення на кар'єрах в значній мірі утруднене внаслідок великих площ відкритих гірничих робіт, використання в основному повітряних ЛЕП та значного питомого опору ґрунтів на уступах кар'єрів.

В умовах кар'єру, заземлювачі можуть розміщуватися як на поверхні, так і на робочих уступах біля приєднуючих пунктів та пересувних підстанцій. Тому заземлюючі установки можуть бути центральними, місцевими та комбінованими.

Для невеликих кар'єрів, що мають обмежені площі, доцільно заземлюючий контур виконувати біля стаціонарної ГПП, коли від заземлювача прокладається магістральний заземлюючий провід, до якого приєднуються корпуси всіх машин та обладнання.

На кар'єрах, що займають великі площі з великою кількістю машин і механізмів, використовують комбіновані заземлюючі установки. У зв'язку з високим питомим опором ґрунтів більшості кар'єрів, основний заземлювач приходиться закладати на поверхню кар'єра біля ГПП чи ЦРП. Таке розміщення основного заземлювача, при значній площі кар'єру, визначає велику протяжність внутрішньокар'єрної заземлюючої мережі.

На опорах повітряних ЛЕП приходиться прокладати спеціальний стальний провід заземлюючої мережі.

При виконанні головного заземлюючого контуру на ГПП, все обладнання ГПП з'єднується з контуром за допомогою заземлюючої системи шин, до якої під'єднуються заземлюючі проводи всіх повітряних ЛЕП, що відходять від ГПП. До цих заземлюючих проводів приєднуються корпуси пунктів приєднання та пересувних підстанцій. Додатково біля цих установок виконується місцевий заземлювач, який приєднується до корпусів цього обладнання та заземлюючого

провідника (рис. 3.5). Місцевий заземлювач виконують із труб діаметром 50...75 мм та довжиною 2,5...3,5 м (не менше трьох труб).

Пересувні машини заземлюються за допомогою заземлюючої жили гнучкого силового кабелю, що живить машину.

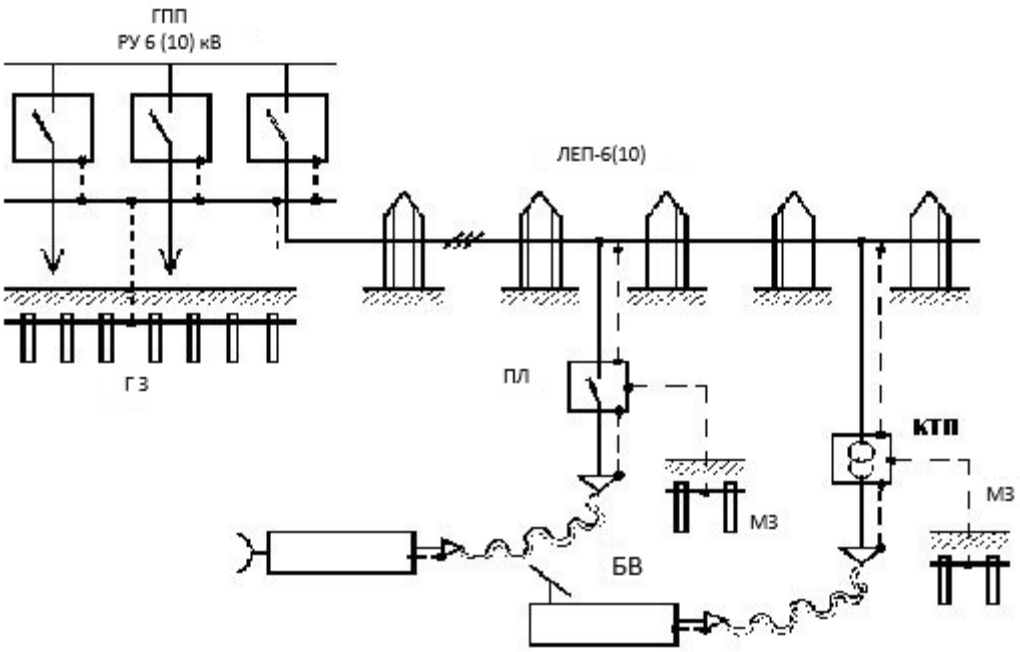



Рис. 3.5. Принципова схема заземлюючої мережі на кар'єрах

## 3.5. Розрахунок захисних заземлень

Для підземних електроустановок шахт і рудників розрахунок захисних заземлень не виконується, але проводиться контрольний орієнтовний розрахунок. Дійсна величина опору загально шахтної заземлюючої мережі в найбільш віддаленій від головного заземлення точці, при кількості місцевих заземлювачів більше 10, приблизно:

$$R'_з \cong \sqrt{r_{рм} r_к}\,, \qquad (3.9)$$

де $r_{рм}$ – опір розтікання струму місцевого заземлювача, Ом; $r_к$ – середній опір заземлюючої магістралі із сталевої броні і свинцевої оболонки кабелю між двома сусідніми заземлювачами (приймається із розрахунку 1 Ом/ км).

При використанні трубчатого поодинокого заземлювача опір розтікання мережі визначається за формулою:

$$r_{\text{рм}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d}, \qquad (3.10)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом/ см; l – довжина труби, см; d – діаметр труби, см;

Для стрічкового заземлювача:

$$r_{\text{рм}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2l^2}{bh}, \qquad (3.11)$$

де b – ширина стрічки, см; h – глибина закладання стрічки, см.

За наявності двох крил шахти, що відпрацьовуються одночасно, опір загальношахтної заземлюючої мережі біля головного заземлювача, не враховуючи останнього: $R''_{\text{з}} = 1/2\, R'_{\text{з}}$.

З урахуванням головного заземлювача, опір загальношахтної заземлюючої системи:

$$R_{\text{з}} = \frac{R''_{\text{з}} \cdot R_{\text{ц}}}{R''_{\text{з}} + R_{\text{ц}}}. \qquad (3.12)$$

Згідно з вимогами ПБ, значення опору $R_{\text{з}}$ не повинно перевищувати 2 Ом. Якщо це значення більше 2 Ом, то паралельно кожному місцевому заземлювачу закладається допоміжний заземлювач (не ближче 5 м від основного).

На проммайданчиках підприємств, на кар'єрах розрахунок захисних заземлень зводиться до визначення загального необхідного опору заземлення та кількості електродів головного заземлювача. В розподільчих мережах з ізольованою нейтраллю, при малих струмах замикання на землю, опір захисного заземлення:

$$R_{\text{з.заг}} \le \frac{\text{U}_{\text{доп.т.}}}{\text{К}_{\text{т}}\text{I}_{\text{оз}}}, \qquad (3.13)$$

де $\text{U}_{\text{доп.т.}}$ – допустима напруга дотику, В; $\text{К}_{\text{т}}$ – коефіцієнт дотику; $\text{I}_{\text{оз}}$ – струм однофазного замикання на землю, А.

Згідно ПУЕ, для електроустановок з ізольованою нейтраллю напругою вище 1000 В, приймають $U_{доп.т.}$=250 В. Якщо захисне заземлення одночасно використовується також для установок напругою до 1000 В, приймають $U_{доп.т.}$=125 В, але не більше 2, 4 та 8 Ом при напругах трифазного струму, відповідно, 660 В, 380 В та 220 В. Гірничі підприємства за небезпекою враження електричним струмом прирівнюються до небезпечних приміщень для яких значення $U_{доп.т.}$=40 В, при відсутності захисту від однофазних замикань на землю.

Коефіцієнт дотику $К_т$ знаходиться в межах 0,75...1, в розрахунках приймається рівним одиниці.

Величина $I_З$ в (3.13) – найбільш можливий струм однофазного замикання на землю, обумовлений ємністю мережі. Він приблизно визначається як:

$$I_з = \frac{U\left(35l_к + l_п\right)}{350}, \qquad (3.14)$$

де $l_{К.}$, $l_{П.}$ – загальна довжина електрично зв'язаних ліній мережі, відповідно, кабельних та повітряних, м.

Таким чином, у відповідності з ПУЕ, заземлювач, що є загальний для мереж 6 кВ і 380 В, розраховується за умовою: $R'_{з.заг.} < 4$ Ом.

Загальний опір заземлень системи складається з опору заземлювача та опору заземлюючих провідників:

$$R_{з.заг.} = R_з + \sum R_{з.п.}, \qquad (3.15)$$

де: $R_з$ – опір заземлювача , Ом; $\sum R_{з.п.}$ – сумарний опір заземлюючих провідників до найбільш віддаленої точки системи, Ом.

При використанні заземлення, на підприємствах можуть використовуватися природні та штучні заземлювачі. В якості природних заземлювачів використовують прокладені в землі стальні труби з'єднані в стиках зварюванням; труби артезіанських свердловин; різного роду трубопроводи; сталева броня та свинцеві оболонки кабелів, прокладених в землі; металеві; залізобетонні конструкції та фундаменти будівель і споруд, що мають надійне з'єднання з землею та ін.

Опір розтікання провідника круглого перерізу, наприклад, горизонтально прокладеної труби:

$$R_{\text{тр}} = \frac{0.366\rho}{l} \lg \frac{l^2}{d \cdot h}, \tag{3.16}$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом/см; l – довжина труби, см; d – зовнішній діаметр труби, см; h – глибина закладання труби від поверхні до середини провідника, см.

При використанні залізобетонного фундаменту в якості заземлювача, опір однієї палі:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot 1,75\rho}{l_c} \lg \frac{4l_c}{d}, \tag{3.17}$$

де $l_C$ – довжина палі, м; d – діаметр палі, м.

Опір заземлення палевого фундаменту портальних опор відкритих розподільчих установок (ОРУ) визначається як:

$$R_{\text{с.ф.}} = \frac{R_{\text{с.}}}{\eta n}, \tag{3.18}$$

де n – число паль в фундаменті; η = 0,7 для одностійкової опори; η = 0,9 для портальних опор.

Опір заземлення залізобетонних фундаментів будівлі, що зв'язані між собою металевими конструкціями:

$$R_{\text{ф.б.}} = \frac{\rho}{S}, \tag{3.19}$$

де S – площа, обмежена периметром будівлі, м$^2$.

Приймаючи до уваги, що штучний та природний заземлювачі включені паралельно, при використанні їх одночасно, опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{п}} R_{\text{з}}}{R_{\text{п}} - R_{\text{з}}}, \tag{3.20}$$

де $R_П$ – опір природного заземлювача, Ом; $R_З$ – необхідний опір заземлювача, Ом.

Штучні заземлювачі виконують із електродів, розташованих в ряд чи по контуру, заглиблених на 0,5...0,7 м і з'єднаних сталевою смугою за допомогою зварювання. Електроди довжиною 2,5...3 м виготовляють із сталевих труб,

кутового заліза 50х50, 60х60, 75х75 або із круглої сталі діаметром 12...16 мм та довжиною 5...6 м.

Опір розтікання одинокого заземлюючого вертикального електрода визначається із наступних залежностей:

рис. 3.6, а:
$$R_{\text{р.е.}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \tag{3.21}$$

рис. 3.6, б:
$$R_{\text{р.е.}} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right). \tag{3.22}$$

Для куткового заліза

$$d = 0{,}95b, \tag{3.23}$$

де b – ширина сторони кутового заліза, м.

Для горизонтально закладеного заземлювача, або з'єднувальної стрічки (рис. 3.6, в):

$$R_{\text{р.с.}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh}, \tag{3.24}$$

де b – ширина стрічки, м (якщо заземлювач круглий, то b = 2d).

Довжина з'єднувальної стрічки:

$$l = 1{,}05an, \tag{3.25}$$

де: a – відстань між електродами, м; n – кількість електродів.

Без прийняття до уваги опору розтікання з'єднувальної смуги, кількість електродів:

$$n = \frac{R_{\text{р.с.}}}{\eta_{\text{е}} R_{\text{з}}}, \tag{3.26}$$

де $\eta_{\text{е}}$ – коефіцієнт екранування, який враховує взаємний вплив електродів. Величина останнього залежить від відношення a/l та кількості електродів n. Його значення приводиться в спеціальній літературі у вигляді таблиць або графічної залежності виду, що наведена на рис. 3.7.

Результуючий опір складного заземлення з урахуванням екранувальної дії електродів і з'єднувальної стрічки:

$$R'_з = \frac{1}{\frac{\eta_{е.с.}}{R_{р.с.}} + \frac{n \cdot \eta_е}{R_{р.е.}}}, \qquad (3.27)$$

де $\eta_{е.с.}$ – коефіцієнт екранування з'єднувальної стрічки.

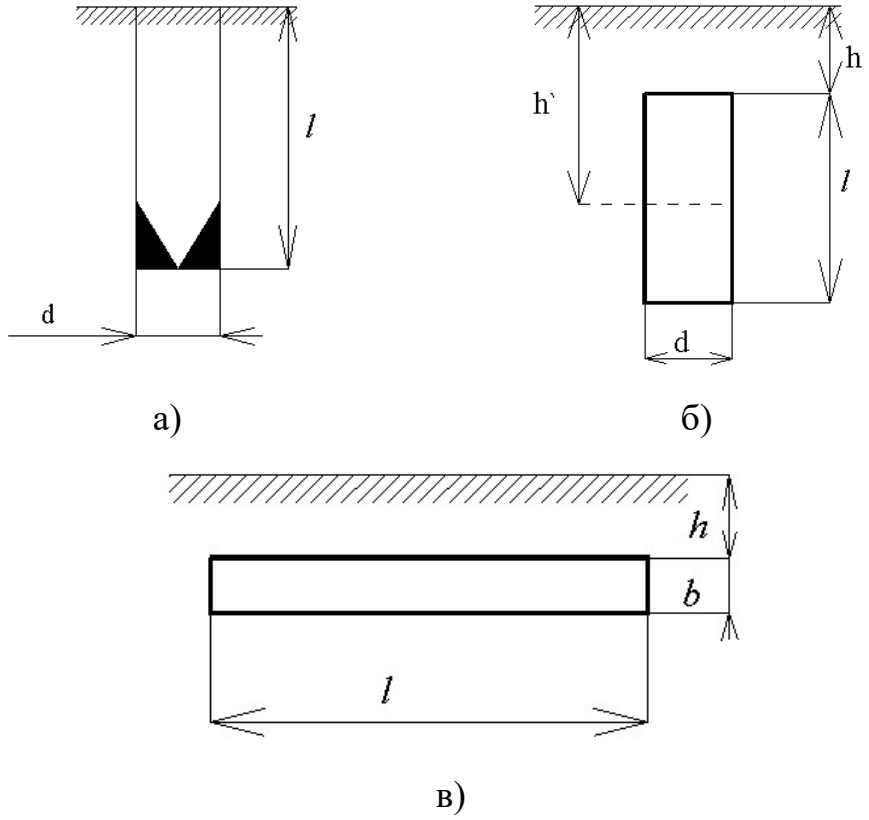



Рис. 3.6. Розрахункова схема заземлювачів: а) без заглиблення електроду; б) з заглибленням електроду; в) стрічкового заземлення.

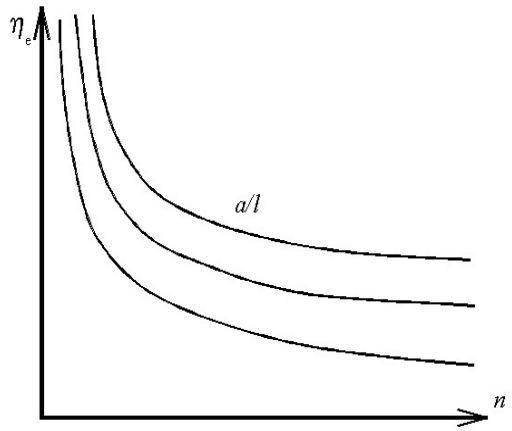



Рис. 3.7. Залежність коефіцієнту екранування $\eta_e$=f(n)

Провідність землі характеризується питомим опором (Ом/см або Ом/м), який залежить від характеру будови ґрунту, його вологості, глибини промерзання і коливається в широкому діапазоні. Середнє значення питомого опору ґрунтів приводиться в літературі. Більш правильним при проектуванні заземлення є вимірювання опору ґрунту в місці закладання заземлення. Однак при цьому треба враховувати сезонні коливання опору, що вводяться поправкою в залежності від кліматичної зони. Після цього проводиться перевірка розрахунку заземлення. Спочатку розраховується загальний опір до найбільш віддаленої точки мережі 380 В:

$$R_з^E = R_з + R_{\text{пр.0,38}} \le 4 \text{ Ом}, \tag{3.28}$$

де $R_з^E$ – загальний еквівалентний опір заземлення; $R_з$ – опір заземлюючих провідників; $R_{\text{пр.0,38}}$ – опір провідників мережі 0,38 кВ.

Для мережі 6 кВ також визначається загальний опір заземлення до найвіддаленішого пункту:

$$R_з^E = R_з + R_{\text{пр.6}}, \tag{3.29}$$

де $R_{\text{пр.6}}$ – опір провідників мережі 6 кВ.

При цьому:

$$U_{\text{т}} = K_{\text{т}} I_{\text{з}} R_{\text{з(6)}} \le U_{\text{доп.т}}. \tag{3.30}$$

## Контрольні запитання

*1. З чого складається комплексна система заходів електробезпеки на підприємстві?*

*2. Яке призначення ізоляції електрообладнання та які вимоги до неї висуваються згідно з Правил безпеки?*

*3. Якими способами здійснюється захист від переходу напруги вищої сторони трансформатора на нижчу сторону?*

*4. Поясніть призначення захисного заземлення, принцип його роботи. Сформулюйте основні нормативні вимоги та порівняйте способи виконання захисного заземлення на підприємствах геотехнічних виробництв.*

*5. Наведіть основні варіанти конструкцій заземлювачів. За якими ознаками розрізняють штучні та природні заземлювачі? Як виконується розрахунок захисних заземлень.*

# ЛЕКЦІЯ 4. Захисне відключення мережі

4.1 Принцип дії захисного відключення.

4.2. Засоби контролю ізоляцій і захисного відключення.

4.2.1. Найпростіші засоби контролю.

4.2.2. Схеми, що працюють на струмах нульової послідовності.

4.2.3. Схеми захисту, які працюють на випрямлених струмах мережі, що контролюється.

4.2.4.Схеми, що працюють на випрямлених струмах стороннього джерела.

4.3. Компенсація ємнісної провідності мережі.

## 4.1. Принцип дії захисного відключення

У випадку торкання людиною елементів обладнання, які знаходяться під напругою, єдиним способом забезпечення безпеки є відключення мережі, яке має назву "захист від витоків струму". Таке відключення мережі повинно виконуватися завжди, коли є небезпека для людини.

У відповідності з ПУЕ захисне автоматичне відключення мережі повинно забезпечити безпечну для людини сукупність струму і часу його протікання при замиканнях на корпус або зниженні рівня ізоляції нижче граничного значення. Тобто ідея захисного відключення полягає в швидкому автоматичному відключенні мережі при появі в ній небезпеки враження струмом людини: при доторканні людини до струмоведучої частини, появі небезпечних витоків струму на землю через пошкодження ізоляції мережі і, нарешті, при замиканні фази на корпус електрообладнання.

Головні елементи захисного відключення – апарат захисту від струмів витоку та автоматичний вимикач (рис. 4.1).

Пристрій захисного відключення (ПЗВ) включає в себе сукупність елементів які сприймають вхідну величину (фільтри струму та напруги,

вимірювальні трансформатори та ін.), реагують на її зміну (підсилювачі, порогові елементи, реле), подають сигнал на відключення вимикача при заданому значенні вхідної величини.

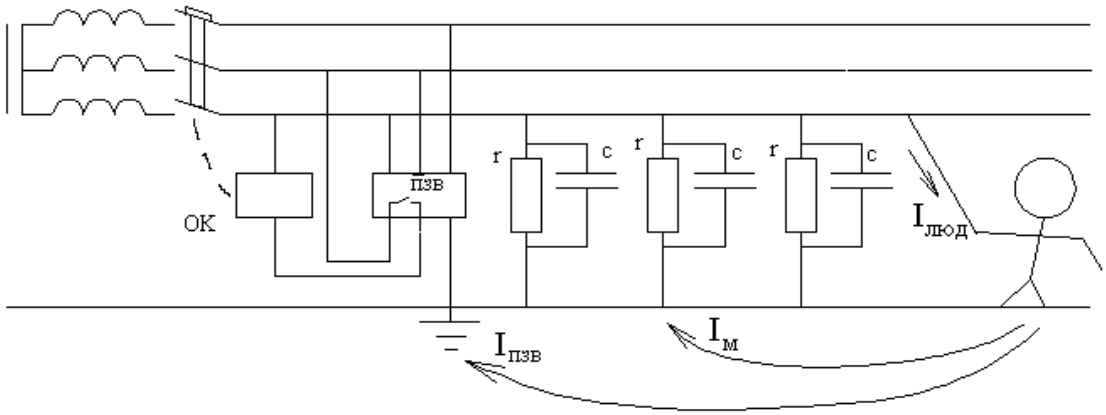



Рис. 4.1. Захист від витоків струму

Струм через тіло людини, у випадку однополюсного доторкання до провідника мережі:

$$I_{люд.}=I_м + I_{пзв}, \qquad (4.1)$$

де $I_м$ – струм мережі, що проходить через опір ізоляції та ємність мережі відносно землі, А; $I_{пзв}$ – струм, що протікає через ПЗВ, А.

Це показує, що підключення ПЗВ до мережі не повинно підвищувати небезпеку, тобто ПЗВ повинно бути високоомним. Якщо опір тіла людини та опір ізоляції мережі достатньо високий, вхідна величина на реагуючому елементі апарату захисту буде недостатньою для його спрацювання і захисне відключення не виникає. При цьому струм через людину не перевищує довготривалого допустимого значення $I_{люд} \leq I_{д.доп}$.

Для рудникової апаратури захисту $I_{д.доп.}$ = 0,025 А при ємності мережі відносно землі до 1 мкФ/фазу. При спрацюванні апарата захисту, через тіло людини протікає струм протягом часу відключення мережі захистом та дії електрорушійної сили відключених двигунів (рис. 4.2).

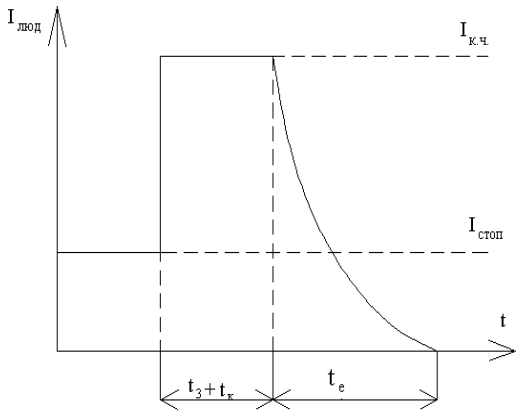



Рис. 4.2. Графік залежності протікання величини струму через людину від часу $I_{люд}=f(t)$

Цей струм називають максимальним короткочасним ($I_{к.ч.}$).

Повний час відключення (з моменту виникнення витоку на землю до моменту затухання зворотної ЕРС відключених електродвигунів після відключення мережі:

$$T_в = t_з + t_к + t_е, \qquad (4.2)$$

де: $t_з$ – час спрацювання апарату захисту, с; $t_к$ – час спрацювання апарату, що відключає мережу, с; $t_е$ – час затухання ЕРС електродвигунів, с.

З точки зору безпеки та надійності, важливим є час спрацювання ПЗВ. Необхідно мати захист з найменшим часом відключення. Згідно з ПБ загальний час відключення мережі напругою 380 В та 660 В не повинен перевищувати 0,2 с, а напругою 1140 В – 0,12 с. Час спрацювання захисту $t_з$ не перевищує 0,1 с, а повний час спрацювання автоматичного вимикача $t_к$ не більше 0,07...0,1 с.

Коли захисне відключення є єдиним видом захисту мережі, необхідний самоконтроль роботи для запобігання роботи електроустановки при несправному захисному відключенні.

Основні властивості та особливості схем контролю ізоляції визначаються видом струму, що проходить через вимірювальне коло та реле і залежить від опору ізоляції та ємності мережі відносно землі. Знаходження залежності між струмом вимірювальної схеми та опором ізоляції мережі – головне завдання при розробці пристрою безперервного контролю ізоляції. При цьому, складність

створення таких пристроїв пов'язана також з тим, що канал вимірювання та канал передачі електричної енергії є одним і тим самим – це електрична мережа. Тому оперативна напруга пристрою повинна відрізнятися своїми параметрами від напруги силової мережі.

В пристроях захисного відключення може використовуватися ефект того, що при несиметрії пошкодження ізоляції фаз з'являються струми нульової послідовності. Але частіше за все використовують метод накладання постійного струму на контрольовану мережу. При цьому оперативний струм дозволяє визначити стан ізоляції, тому що він є функцією загального активного опору ізоляції мережі.

$$I_{\text{оп}} = f\left(r_{\Sigma}\right), \tag{4.3}$$

де $r_{\Sigma}$ – загальний опір мережі відносно землі:

$$r_{\Sigma} = \frac{r_a r_b r_c}{r_a r_b + r_b r_c + r_a r_c}, \tag{4.4}$$

де $r_a$, $r_b$, $r_c$ – відповідно, опори ізоляції фаз А, В, С, Ом.

Для візуального контролю стану ізоляції пристрої захисту, як правило, мають кілоомметр, за показаннями якого визначають стан ізоляції.

За наявності дотику людини до струмоведучого елементу, опір, за якого реле повинно відключити мережу (опір уставки):

$$r_{\text{у}} = \frac{r_{\text{кр}} r_{\text{люд}}}{3r_{\text{люд}} + r_{\text{кр}}}, \tag{4.5}$$

де: $r_{\text{кр}}$ – критичний опір ізоляції, при якому струм через людину не перевищить гранично небезпечного, Ом; $r_{\text{люд}}$ – опір людини, Ом.

Очевидно, що оскільки струм через людину обумовлений не тільки активним опором ізоляції, а й ємністю мережі, критичний опір залежить від величини останньої, тобто $r_{\text{КР}}$. Чим більша ємність мережі тим вищим повинен бути опір ізоляції $r_{\text{КР}}$. Значення $r_{\text{КР}}$ у випадку ємності рівній нулю вказані в таблиці 4.1. Критичний опір мережі $r_{\text{КР}} = \infty$ досягається при ємності мережі, яка вказана в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1. Значення опорів ізоляції для мереж з нульовою ємністю

| Опір ізоляції $r_{КР}$, кОм | Напруга мережі U, В |
|---|---|
| 25 | 380 |
| 43 | 660 |
| 75 | 1140 |

Таблиця 4.2. Ємність мережі, яка необхідна для забезпечення опору $r_{КР} = \infty$

| Ємність мережі С, мкФ/фазу | Напруга мережі U, В |
|---|---|
| 0,044 | 1140 |
| 0,07 | 660 |
| 0,122 | 380 |

Таким чином, надійна робота захисту від витоку на землю можлива лише за наявності компенсації ємнісної провідності мережі і при наближенні компенсуючої індуктивності до резонансного значення $\omega L = 1/\omega C$. Тоді струм в ПЗВ приблизно буде визначатися активним опором ізоляції: $I_{люд} \cong \varphi(r)$.

Як було зазначено вище, захисне відключення повинно відбуватися коли струм через людину досягне граничного значення $I_{д.доп.}$ при всіх можливих видах витоку на землю та наявності ємності мережі. Величина струму через людину залежить від опору ізоляції r, опору витоку на землю (одно-, дво- або трифазного), та ємності мережі С, тобто $I_{люд} = \varphi(r, r_B, C)$.

Опір r – величина розподілена по всій мережі і обумовлена рівномірним зниженням у всіх фазах при старінні ізоляції; вона приблизно однакова для всіх фаз та має достатньо високе значення.

Опір $r_B$ – місцевий зосереджений опір ізоляції одного або декількох провідників відносно землі, походження якого обумовлено механічними пошкодженнями ізоляції. Величина $r_B$ – незначна. Частинним випадком $r_B$ є опір людини, що торкнулася струмоведучого елементу однієї з фаз.

При розгляді характеристик захисту в координатах $I_B = \varphi(r_B)$, необхідно брати до уваги сукупність кривих такого виду для різних значень опору r і для різних значень ємності мережі С. В той самий час, інтерес представляє не поява

будь-якого значення $I_в$, а лише гранично безпечного $I_{д.доп.}$ ($I_в = I_{д.доп.}$), коли необхідно відключати мережу і тому можна задовольнитися побудовою характеристик захисту в координатах $r_в = \varphi(r)$, при $I_в = I_{д.доп.} = const$. В цьому випадку можна задовольнитися трьома кривими: відповідно, при одно-, дво-, трифазних витоках $r'_в \cong \varphi(r)$, $r''_в \cong \varphi(r)$, $r'''_в \cong \varphi(r)$ при заданому значенні ємності С.

Для кожної з цих характеристик є своя уставка опору відключення мережі. Якщо між ними відношення постійне $r'_{відкл.} : r''_{відкл.} : r'''_{відкл.} = 1:2:3$, то говорять, що такі пристрої захисту мають канонічні характеристики. Ці апарати найбільш прості. Для них вибір уставки спрацювання при одному виді витоку є одночасно вибором уставки при інших видах витоку.

З точки зору реальної можливості роботи мережі треба працювати як можна з меншими опорами ізоляції. Але стала робота мережі можлива, якщо реальний опір ізоляції:

$$r \geq (1{,}5 \div 2) r_{кр}, \tag{4.6}$$

де $r_{кр} = \dfrac{U_ф}{I_{д.доп.}}$.

З точки зору сталої роботи системи електропостачання опір $r'''_{відкл.} = r_{кр}$ доцільно зменшити, але це зменшить значення $r'_{відкл.}$, що знижує безпеку персоналу. Щоб цього не сталося необхідно порушити вище наведене співвідношення, тобто необхідно щоб виконувалося співвідношення $r'_{відкл.} : r''_{відкл.} : r'''_{відкл.} \neq 1:2:3$.

Такі характеристики носять назву деформованих, а відповідні пристрої називають пристроями захисту з деформованими характеристиками. Необхідно також прийняти до уваги, що реальні мережі мають ємності відносно землі навіть за наявності засобів їх компенсації. Тому, з точки зору безпеки, необхідно уставку однофазного відключення витоку збільшувати. Захист від витоків може попереджувати небезпеку ураження людини при виконанні наступних вимог:

- неперервне вимірювання опору ізоляції мережі відносно землі, який поширюється на всю електрично зв'язану мережу, якщо захист має неселективну дію;

- автоматична сигналізація при зниженні опору ізоляції нижче встановленого рівня;

- відключення мережі при аварійному стані ізоляції та при дотику людини до одної з фаз – захисне відключення;

- з точки зору безпеки та надійності роботи мережі, необхідна висока швидкодія захисту, за якої струм, що проходить через людину, не спричинить тяжких наслідків. Чим більша швидкодія захисту, тим більший допустимий короткочасний струм через людину $I_{к.б.}$ при певному $t_{відкл.}$;

- незалежність роботи схеми захисту від коливань напруги в мережі в умовах відключення;

- неможливість помилкової роботи захисту при різних перехідних процесах;

- схема захисту повинна мати підвищену точність роботи, не бути причиною зниження опору фаз мережі відносно землі;

- робота захисту не повинна залежати від ємності фаз мережі, тобто прилад повинен вимірювати активний опір мережі відносно землі, реагувати як на симетричне, так і на несиметричне зниження опору;

- бути достатньо чутливим (відношення приросту струму вимірювального кола до приросту опору ізоляції);

- самоконтроль роботи системи захисту від витоків.

Крім основної профілактичної функції захисту – контролю стану ізоляції, реле витоків має також ряд додаткових профілактичних функцій:

- зменшення ймовірності виникнення пожеж і вибухів в результаті пошкодження ізоляції мережі та появі відкритих дуг й іскор та небезпечного нагріву;

- попередження пропалювань вибухозахисних оболонок апаратів і обладнання при переході потужних дуг короткого замикання на корпус;

- виконання резервної функції захисту від струмів короткого замикання, приймаючи до уваги, що майже завжди початок порушення ізоляції та виникнення короткого замикання супроводжується наявністю струму витоку на землю.

## 4.2. Засоби контролю ізоляцій і захисного відключення

### *4.2.1. Найпростіші засоби контролю*

Найпростішими засобами контролю ізоляції можуть служити вольтметри або неонові лампи, підключені безпосередньо до фаз мережі (рис. 4.3).

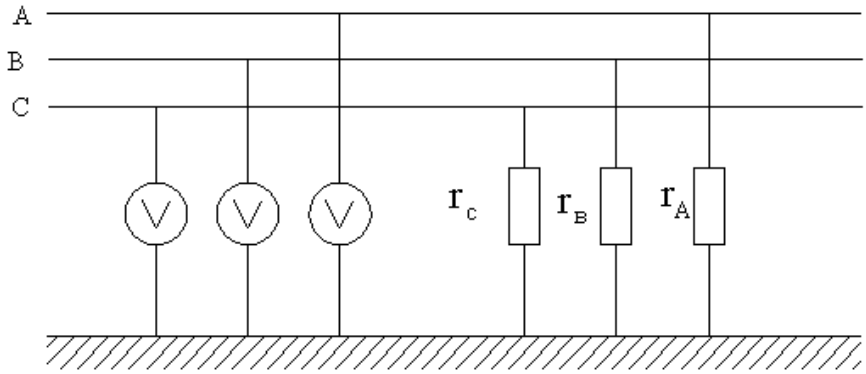
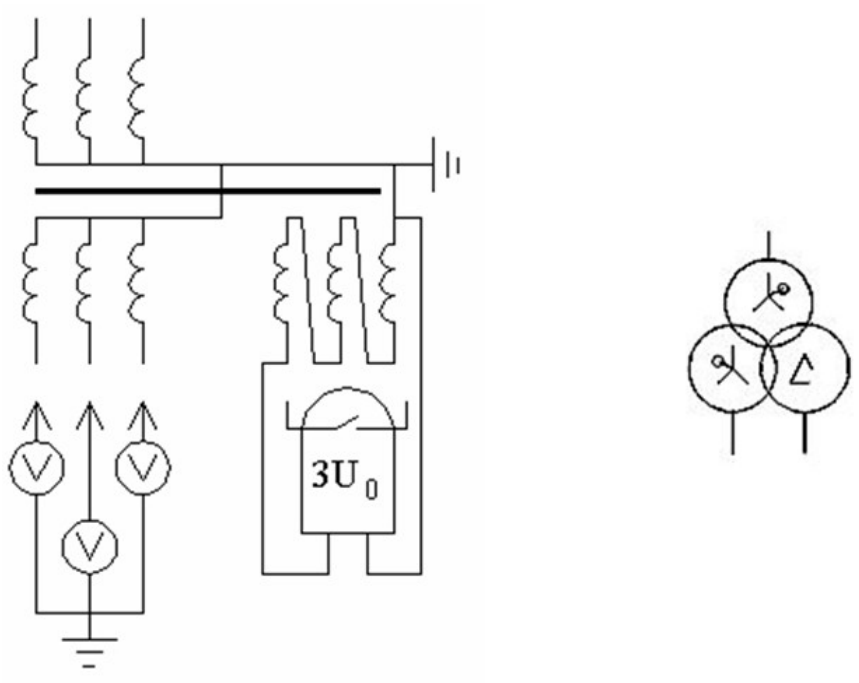



Рис. 4.3. Схема контролю ізоляції вольтметрами

Щоб ці засоби не збільшували небезпеку, знижуючи опір ізоляції мережі, вони повинні мати високий внутрішній опір. При замиканні на землю фази А – $r_A \to 0$ і напруга на пошкодженій фазі $U_A \to 0$, а напруга решти фаз по відношенню до землі – $U_B = U_C \to \sqrt{3}U_\Phi$ збільшується і може зростати до лінійної напруги. За показанням вольтметрів можна судити про стан ізоляції фаз. В розподільчих мережах використовують триобмотковий масляний вимірювальний трансформатор НТМІ з контролем ізоляції (рис. 4.4).

Покази вольтметрів свідчать про стан ізоляції фаз. При замиканні одної з фаз на землю, на виході обмоток, включених за схемою розімкнутого трикутника, з'являється напруга нульової послідовності, що досягає лінійного значення. Ця напруга використовується в системі захисту мережі від однофазних замикань на землю.

За видом струму вимірювального кола, схеми безперервного контролю ізоляції діляться на ряд груп (розділи 4.2.2-4.2.4).




а) б)

Рис. 4.4. Контроль ізоляції мережі за допомогою трансформатора НТМІ:
а) схема приєднання трансформатора НТМІ; б) позначення трансформатора НТМІ на принциповій електричній схемі в однолінійному виконанні

### *4.2.2. Схеми, що працюють на струмах нульової послідовності*

**Група 1**. Схеми, що працюють на струмах нульової послідовності (асиметри) (рис. 4.5).

Асиметр складається з трьох рівних за величиною опорів $R_1$ (фільтр напруги нульової послідовності), що з'єднані зіркою. Нульова точка через пристрій

вимірювання $R_н$ приєднується на землю. При пошкодженні ізоляції та замиканні одної або двох фаз на землю (або торканні людини до однієї з фаз) на затискачах навантаження (між нулем фільтра та землею) з'являється напруга нульової послідовності $U_0$. При досягненні $U_0$ значення напруги спрацювання (уставки) $U_c$ або його перевищення, виконавчий орган (реле та ін.) спрацьовує і відключає мережу:

$$U_0 = \frac{U \cdot r}{3r'_в + r} = U_c, \tag{4.7}$$

де r – опір ізоляції, Ом.

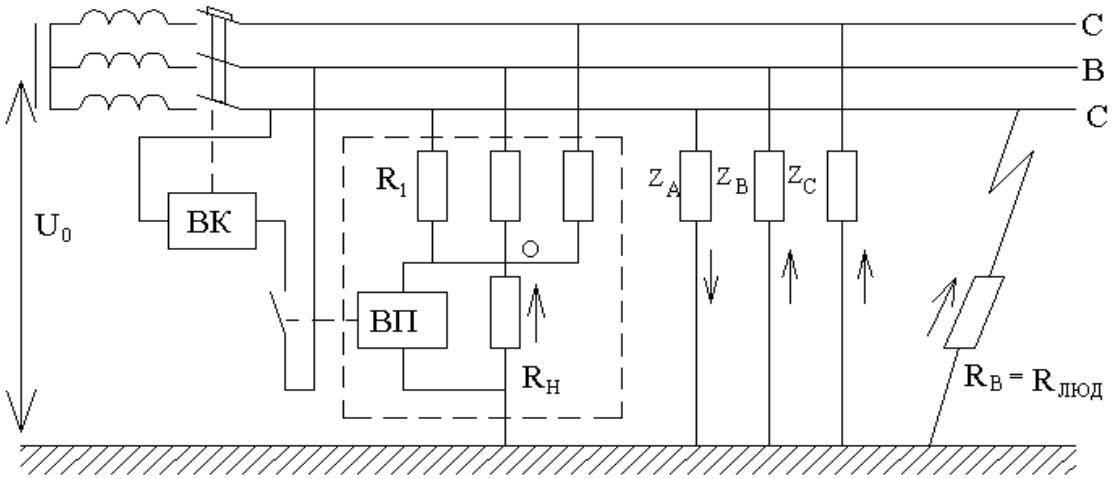



Рис. 4.5. Схема пристрою захисного відключення, яка реагує на напругу нульової послідовності.

Тоді опір однофазного витоку на землю, при якому спрацює пристрій:

$$r'_c = \frac{U - U_c}{U_c} \cdot \frac{r}{3}. \tag{4.8}$$

Характеристика $r'_c = \varphi(r)$ має лінійний характер (рис. 4.6, а). Але реальна характеристика пристрою буде дещо іншою, тому що паралельно опору ізоляції r підключено внутрішній опір самого пристрою $R_{CX}$:

$$\frac{r \cdot R_{CX}}{r + R_{CX}} = \frac{r \cdot (R_1 + 3R_H)}{r + (R_1 + 3R_H)}. \tag{4.9}$$

Тоді опір спрацювання пристрою:

$$r_c' = \frac{U - U_c}{U_c} \cdot \frac{r \cdot \left(R_1 + 3R_н\right)}{3 + \left(r + R_1 + 3R_н\right)}, \qquad (4.10)$$

тобто характеристика стає нелінійною (рис. 4.6, б).

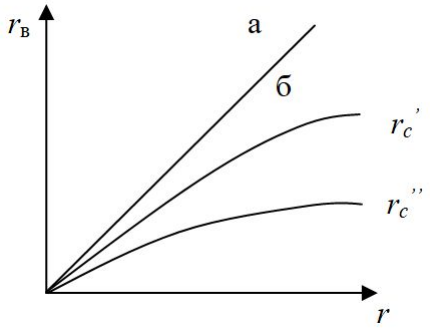



Рис. 4.6. Характеристики захисту асиметра

При ємності фаз С = 0, напруга спрацювання, при однофазному витоку, яким є людина:

$$U_с = \frac{U_ф r\left(R_1 + 3R_н\right)}{3R_{люд}\left(r + R_1 + 3R_н\right) + \left(R_1 + 3R_н\right)r}, \qquad (4.11)$$

де r – опір ізоляції, Ом.

При двофазному замиканню на землю, напруга нульової послідовності на вході пристрою (напруга спрацювання при однакових параметрах фільтра та опору витоку) приблизно в два рази менше ніж для режиму однофазного витоку, тобто чутливість пристрою при двохфазному витоку є нижчою.

Однак чутливість даної схеми сильно залежить від ємності мережі –зі збільшенням ємності напруга нульової послідовності на вході пристрою знижується. В мережі з ємністю відносно землі С та опором ізоляції r граничний опір спрацювання даного пристрою, при однофазному витоку, буде не більше:

$$r_с' = \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(1 - U_с\right) r \cdot \left(R_1 + 3R_н\right)}{U_с\left(r + R_1 + 3R_н\right)\sqrt{1 + \omega^2 C^2 r^2}}, \qquad (4.12)$$

де $U_с$ – напруга уставки спрацювання як частка від фазної.

Аналіз цього виразу показує, що при уставці спрацювання $U_c$ = 0,2 (20 % від $U_ф$), ємності мережі 1 мкФ/фазу та r = 100...1000 кОм, пристрої не можуть мати чутливість за опором однофазного витоку вище за 5 кОм, а при ємності мережі 3 мкФ/фазу – 1,5 кОм. В реальних же пристроях, за рахунок падіння напруги в опорі фільтра R1, чутливість буде ще нижчою.

Пристрої, що працюють на напрузі нульової послідовності, не можуть мати високу чутливість, тобто мають відносно низький опір спрацювання.

Крім того, характерною особливістю асиметрів є те, що, при рівномірному зниженні опору ізоляції у всіх фазах, вони не реагують на це зниження. Тому асиметри не можуть використовуватися як засоби контролю ізоляції мережі. Вони можуть відносно добре працювати як засіб захисного відключення при несиметричних витоках на землю.

Позитивною якістю асиметрів є їх простота та висока швидкодія. Частіше за все ці пристрої використовуються в комбінованих системах контролю ізоляції і захисного відключення для збільшення чутливості захисту при несиметричних витоках на землю.

На проммайданчиках гірничих підприємств приймають системи електропостачання з глухозаземленою нейтраллю, в яких використовують пристрої захисного відключення (ПЗВ), що побудовані на використанні фільтрів струму нульової послідовності. Головна їх перевага – можливість селективного відключення електроустановки, до струмоведучої частини якої доторкнулася людина.

В схемі ПЗВ мережі з заземленою нейтраллю (рис. 4.7) використано фільтр у вигляді суматора – диференційного трансформатора струму ТА, до вторинної обмотки якого приєднано реле КА.

Поки людина не торкається фази мережі, сума магнітних потоків, створених в осерді лінійними струмами в проводах, дорівнює нулю, і, як наслідок, у вторинній обмотці ЕРС не індукується. При появі витоку струму на землю, викликаного доторканням людини, з’являються струми нульової послідовності,

які обумовлюють в сердечнику трансформатора струму нульової послідовності (ТСНП) ТА появу нескомпенсованого магнітного потоку, який наводить ЕРС у вторинній обмотці. Струми, викликані цією ЕРС, використовуються для роботи реле КА, що відключає напругу. Струм через тіло людини дорівнює потроєному струму нульової послідовності:

$$I_{л} = 3I_{о} = \frac{U_{ф}}{r_{о} + R_{люд}}, \qquad (4.13)$$

де $U_ф$ – фазова напруга мережі, В; $r_о$ – опір розтікання струму в заземлювачі, Ом.

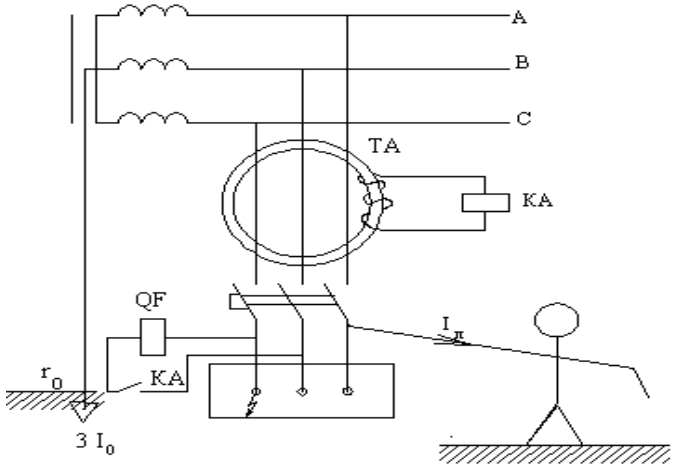



Рис. 4.7. Принципова схема захисного відключення мережі з заземленою нейтраллю

В реальних умовах сумарний магнітний потік в осерді, навіть за відсутності витоку на землю, має значення, відмінне від нуля. Це пояснюється відхиленнями від симетричного розташування обмоток трансформатора струму, а також наводок (магнітні поля від поруч розташованих кабелів та шин, блукаючі струми та ін.). Ці фактори обумовлюють струми небалансу, які обмежують можливість підвищення межі чутливості пристрою захисту до струмів нульової послідовності. Для відлаштування від струмів небалансу застосовують ряд заходів експлуатаційного та конструктивного характеру.

ПЗВ також відключає електроустановку при пошкодженні ізоляції, тобто при замиканні на корпус або безпосередньо на землю.

Випускається велика кількість різних типів ПЗВ для мереж з заземленою нейтраллю трансформатора, що класифікуються:

- за числом полюсів (дво- та чотириполюсні);

- за способами монтажу (для фіксованого монтажу в розподільчих щитах, адаптери для штепсельних розеток);

- за витримкою часу при відключенні (без витримки часу, з витримкою часу до 10 мс, селективні з витримкою часу до 40 мс);

- за наявністю пристроїв максимального струмового захисту (ПЗВ без МСЗ, ПЗВ з МСЗ).

В Україні з 1998 року використання ПЗВ в електроустановках будівель і споруд житлового та громадського призначення є обов'язковим, відповідні зміни внесені в ПБЕ.

### *4.2.3. Схеми захисту, які працюють на випрямлених струмах мережі, що контролюється*

**Група 2**. Схеми захисту, які працюють на випрямлених струмах мережі, що контролюється (вентильні схеми) (рис. 4.8).

Більшість існуючих пристроїв контролю ізоляції та захисного відключення в якості оперативного використовують постійний струм, який накладається на робочий змінний струм мережі, що захищається. Цей струм є вхідною величиною в апараті захисту.

В пристроях цієї групи оперативна напруга надходить від трьох вентилів, підключених до фаз мережі, що контролюється, через обмежувальні резистори $r_o$ (рис. 4.8). Загальна точка вентилів з'єднується з землею через опір навантаження (кілоомметр, обмотки реле та обмежуючий резистор $r_д$ ). Резистор $r_д$ обмежує струм до безпечного значення, робить вплив апарату захисту на стан ізоляції мережі, що захищатеься, незначним. Запобіжні резистори $r_o$ служать для обмеження струму в разі пробою вентилів. На практиці значення $r_д$ приймають

значно більшим $r_о$, тому що високоомні резистори мають значно більший розсів параметрів, що при $r_д < r_о$ може привести до небажаної асиметрії схеми.

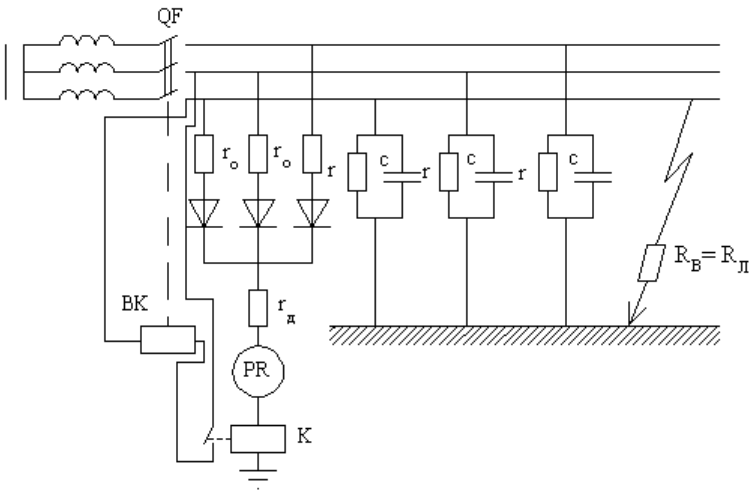



Рис. 4.8. Принципова схема контролю опору ізоляції випрямленими струмами мережі, що контролюється

В схемі одночасно працює лише один вентиль, анод якого має найбільший потенціал у відповідну частину періоду. Середнє значення струму в вимірювальній схемі не залежить від ємності мережі:

$$I_{оп} = \frac{1.5}{\pi} \cdot \frac{U_{тл}}{R_{сх} + r_{\Sigma}}, \qquad (4.14)$$

де $r_{\Sigma}$ – загальний опір мережі відносно землі за (4.4), Ом; $R_{сх} = r_о + r_д$ – опір схеми, Ом; $U_{тл}$ – амплітуда лінійної напруги, В.

Приймаючи значення опору ізоляції r = ∞, легко знайти опір відключення при одно-, дво-, або трифазному витоку, якщо прирівняти струм спрацювання $I_{сп} = I_{д.доп.}$ та визначити оперативну напругу як:

$$U_{оп} = \frac{1.5 U_{тл}}{\pi}. \qquad (4.15)$$

Для однофазного струму витоку на землю:

$$I_{оп} = \frac{U_{оп}}{R_{сх} + r'_{в}}, \qquad (4.16)$$

де

$$\underset{r\to\infty}{r'_{\text{в}}} = \frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{оп}}} - R_{\text{сх}} = R_{\text{с}}. \qquad (4.17)$$

Для двофазного струму витоку на землю:

$$\underset{r\to\infty}{r''_{\text{в}}} = 2\left(\frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{оп}}} - R_{\text{сх}}\right) = 2R_{\text{с}}. \qquad (4.18)$$

Для трифазного струму витоку на землю:

$$\underset{r\to\infty}{r'''_{\text{в}}} = 3\left(\frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{оп}}} - R_{\text{сх}}\right) = 3R_{\text{с}}. \qquad (4.19)$$

Виходячи з (4.17)-(4.19), характеристики захисту (рис. 4.9) є канонічними.

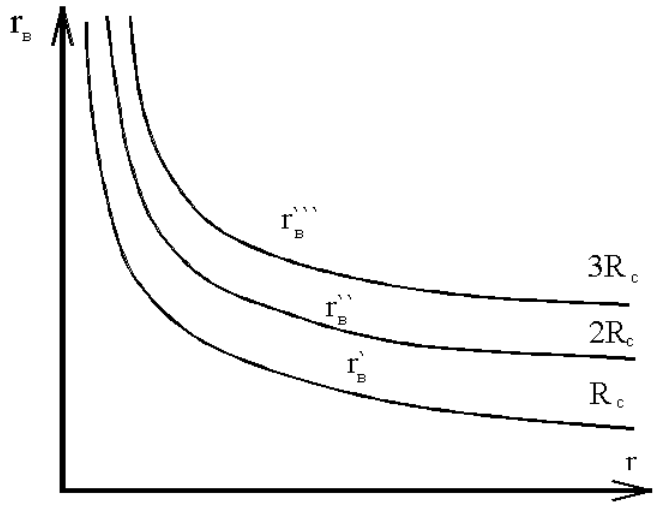



Рис. 4.9. Характеристики захисту, що працює на випрямлених струмах мережі

Чутливість пристроїв цього типу характеризується відношенням зміни середнього значення струму до зміни опору ізоляції мережі:

$$\sigma = \frac{dI}{dr_{\Sigma}} = -\frac{1.5}{\pi} \cdot \frac{U_{тл}}{\left(R_{\text{сх}} + r_{\Sigma}\right)^2}. \qquad (4.20)$$

З (4.20) видно, що найбільшу чутливість пристрій має при малих значеннях опору ізоляції. За умовами безпеки, $R_{\text{сх}}$ повинно бути великим (50...100 кОм). При напрузі мережі 660 В чутливість вентильних схем контролю ізоляції складає 0.1...0.05 мА/кОм. Тобто чутливість вентильних схем в їх “чистому” вигляді дуже низька, тому на практиці їх використовують як частину комбінованих схем.

Недоліки схем цієї групи пов'язані із недостатньою точністю вимірювання, що пов'язано із залежністю їх роботи від коливання напруги в мережі.

Цей принцип контролю використаний в пристроях УАКИ, АЗАК, БЗП-1А та інших вітчизняних розробках. В закордонній практиці – це пристрої фірм "Сіменс-Шуккерт" та "Калор-Емаг" (ФРН).

При пошкодженні елементів схеми, при зміні внутрішніх параметрів захисту, можливі відмови захисту. Цей захист не має самоконтролю.

Одним з шляхів підвищення надійності роботи вентильних схем є паралельне включення вимірювального органу до опору ізоляції, що контролюється (рис. 4.10). Джерело оперативного струму підключено паралельно до опору ізоляції і вимірювального органу захисту. При такому підключенні, величина оперативного струму, що протікає в реле, тим більша, чим більший опір ізоляції мережі. Для створення в обмотці реле струму, достатнього для притягування якоря реле, служить кнопка "ПУСК" – кнопка вводу в роботу реле, яка шунтує опори $R_1$, $R_д$.

При зменшенні опору ізоляції r, в результаті його шунтуючої дії, струм в реле зменшується, а при певному значенні (критичному) опору реле спрацьовує, діє на автоматичний вимикач і напруга мережі вимикається.

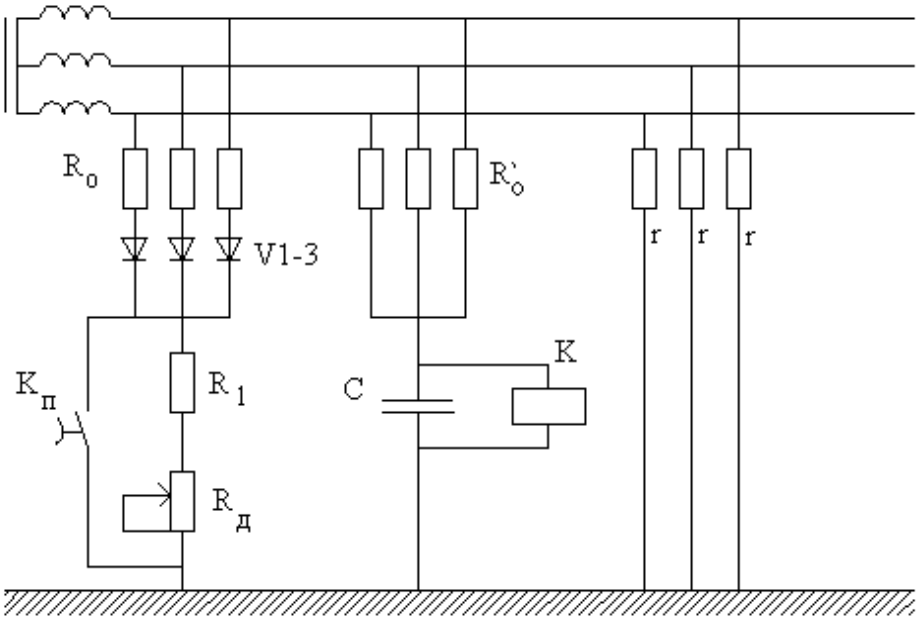



Рис. 4.10. Паралельна вентильна схема контролю ізоляції та захисного відключення

У таких схемах досягається самоконтроль ізоляції. При пошкодженні елементів схеми контролю або зміни їх параметрів, відбувається відключення захисту контролю ізоляції та самої мережі.

Відмова в роботі захисту може також бути внаслідок несправності виконавчого органу автоматичного вимикача. Для підвищення надійності роботи вимикача з захистом, реле контролю діє на нульовий розчеплювач. Якщо автомат не спрацьовує, то допомагає резервний захист (РЗ). При відмові основного захисту, РЗ спрацьовує автоматично, діє на вимикання трансформатора (на вимикач на первинній стороні трансформатора).

Беручи до уваги низьку чутливість вентильних схем, у чистому вигляді вони не використовуються.

Для еквівалентної схеми заміщення, приймаючи струм послідовної частини (через опір $R_H$) вентильної схеми $I_H$, легко знайти струм в паралельній частині (в вимірювальному колі):

$$I_{\text{в}} = \frac{1.5}{\pi} \cdot \frac{U_{\text{тл}} \cdot r'_{\Sigma}}{R_{\text{н}}\left(r'_{\Sigma} + R_{\text{д}}\right) + r'_{\Sigma} R_{\text{д}}}. \tag{4.21}$$

Тоді чутливість паралельної схеми:

$$\sigma = \frac{dI}{dr_{\Sigma}} = \frac{1.5}{\pi} \cdot \frac{U_{\text{тл}} R_{\text{н}} R_{\text{д}}}{\left(R_{\text{н}}\left(r'_{\Sigma} + R_{\text{д}}\right) + r'_{\Sigma} R_{\text{д}}\right)^2}. \tag{4.22}$$

За однакових умов максимальна чутливість такої схеми приблизно в 25 разів більша чутливості послідовної схеми. Таким чином, використання паралельної вентильної схеми забезпечує високу чутливість та точність ПЗВ. Ці схеми використовуються в пристроях типу РУ.

### *4.2.4. Схеми, що працюють на випрямлених струмах стороннього джерела*

**Група 3**. Схеми, що працюють на випрямлених струмах стороннього джерела (рис. 4.11).

За принципом роботи та характеристиками схеми мало відрізняються від попередніх. В пристроях цієї групи в якості оперативних використовуються струми від стороннього джерела, яким частіше за все є понижуючий трансформатор з випрямлячами, зібраними за схемою дво-, три-, або однопівперіодного випрямлення. В вимірювальному колі таких схем, крім випрямленого струму стороннього джерела енергії ($E_=$), проходить змінний струм. Він обумовлений напругою мережі, що контролюється, внаслідок наявності деякої несиметрії опору ізоляції фаз, тобто між штучною нульовою точкою О фільтра приєднання $Z_o$ та землею з'являється напруга нульової послідовності і відповідна складова струму $i_\sim$ , що вносить помилку в вимірювання.

Для ослаблення цього струму приймають різні фільтруючі опори. В залежності від роду цих опорів розрізняють схеми з індуктивним чи ємнісним фільтром. Штучна нульова точка для приєднання схеми контролю до мережі створюється за допомогою трьох резисторів або за допомогою трифазного дроселя.

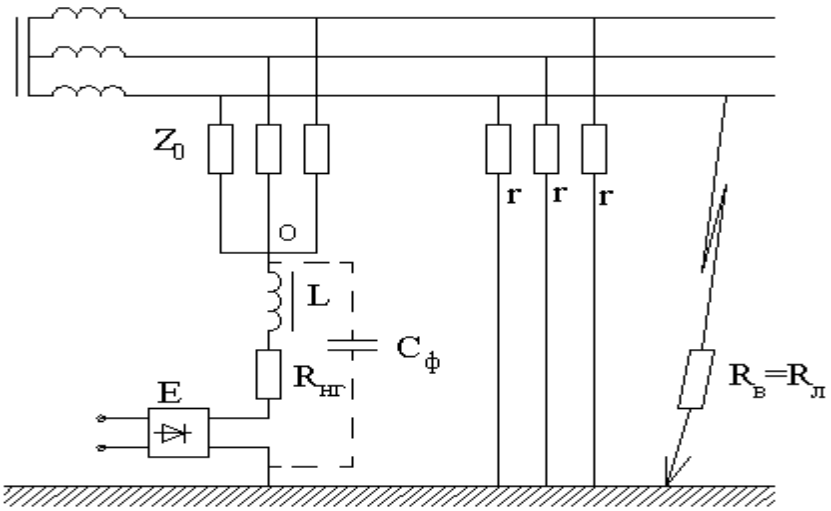



Рис. 4.11. Схема контролю ізоляції мережі за допомогою постійного струму стороннього джерела

В схемі з індуктивним фільтруючим елементом в якості фільтра використовують дросель зі сталевим осердям, що являє великий опір для змінного

струму $i_{\sim}$. В пристроях з ємнісним фільтром в якості фільтруючого елементу використовують конденсатор $C_ф$, тоді змінна складова струму вимірювального кола, обумовлена напругою мережі, буде значно ослаблена.

Струм у вимірювальному колі: $i = I_{=} + i_{\sim}$.

Складова постійного оперативного струму:

$$I_{=} = \frac{3E}{3\left(r'_{\Sigma} + R_{сх}\right) + R_0}, \tag{4.23}$$

де

$$r'_{\Sigma} = \frac{r_{\Sigma} \cdot R_{л}}{r_{\Sigma} + R_{л}}; \tag{4.24}$$

$R_0$ – опір фільтра приєднання, Ом; $R_{СХ}$ – опір схеми (фільтруючого дроселя, вимірювального пристрою – $R_Н$ ), Ом; $R_Л$ – опір людини, що доторкнулась до струмоведучого каналу, Ом.

Чутливість схеми цього типу як і раніше:

$$\sigma = \frac{dI}{dr_{\Sigma}} = -\frac{3E}{3\left(r'_{\Sigma} + R_{сх}\right) + R_0}. \tag{4.25}$$

З (4.25) видно, що найбільша чутливість пристроїв цього типу, як і вентильних, має місце при малих значеннях опору ізоляції $r_{\Sigma}$.

Для підвищення чутливості захисту, в схемах використовуються диференційні схеми вимірювання. При цьому контроль опору ізоляції виконується не на всьому діапазоні можливих змін опору ізоляції, а в зоні критичного його значення. Використовуються схеми з додатковим еталонним джерелом. В схемі порівнюється оперативний струм, величина якого обумовлена опором ізоляції мережі, зі струмом еталонного джерела, налаштованого на струм спрацювання пристрою. Захист спрацьовує від різниці цих струмів. Такий принцип використовується в схемах АЗПБ, АЗУР, АЗШ, БЗО-1140.

Система захисту від струмів витоку в мережах напругою 1140 В складається з комплексу апаратів, що контролюють опір ізоляції мережі та вимикають її при зниженні цього опору до небезпечного рівня (блок захисного відключення БЗВ та

автоматичний вимикач Q) та знижують короткочасний струм витоку до необхідного значення (блок короткозамикачів – БКЗ) (рис. 4.12). В систему захисту входить також високовольтний комплектний розподільчий пристрій (КРУВ), який вимикає мережу з пошкодженою ізоляцією при відмові вимикача Q.

В БЗО зібрані два незалежні пристрої контролю ізоляції та захисного відключення, які живляться від одного джерела оперативної постійної напруги $E_{оп.}$.

Один із них виконує функції основного захисту, що працює за принципом послідовного включення релейного вимірювального елементу К2. Другий пристрій виконує функції резервного захисту за принципом паралельного включення відносно опору ізоляції вимірювального елементу К1.

Оперативний струм $E_{оп}$ протікає через заземлювач, землю, опір ізоляції r, обмотки трансформатора TV2, компенсуючий дросель, резистор $R_з$, реле К2. Зі зниженням опору r ізоляції, струм в К2 збільшується, він спрацьовує і мережа, що контролюється, вимикається автоматом Q.

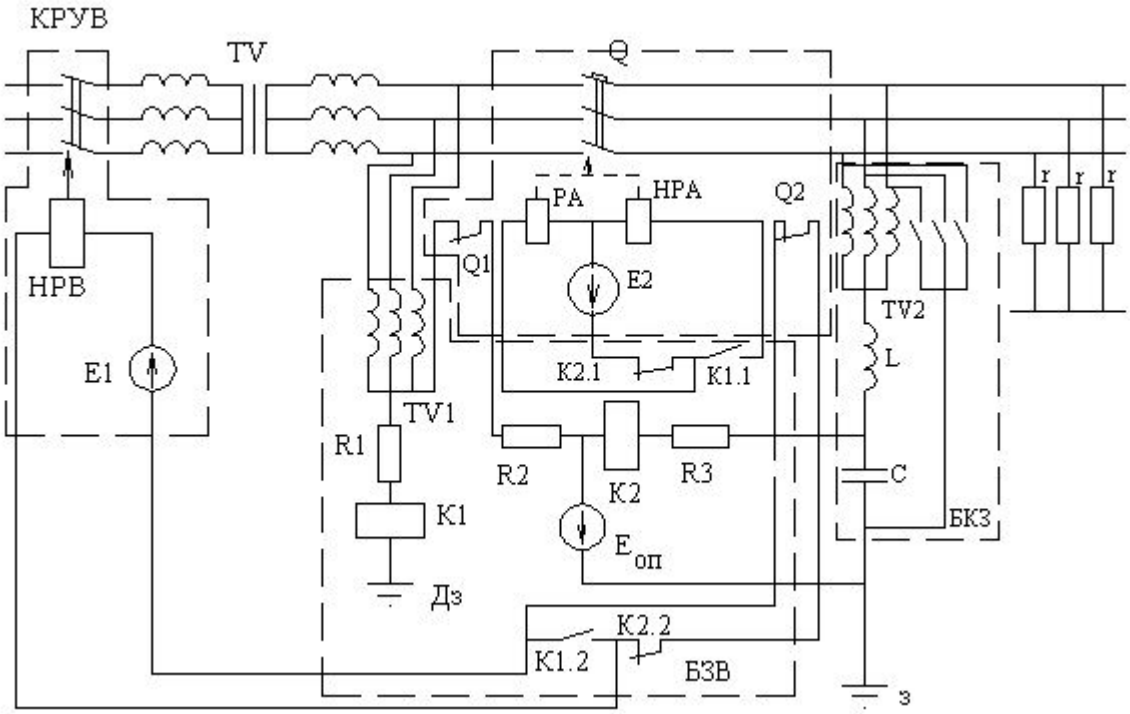



Рис. 4.12. Принципова електрична схема захисту в електричних мережах напругою 1140 В

Другий пристрій складається з реле К1, резистора R1, трансформатора TV1, за допомогою якого пристрій приєднується до контактів автомата Q. При вимкненому автоматичному вимикачі, цей пристрій виконує контроль ізоляції елементів, розташованих в розподільчому пристрої низької напруги трансформаторної підстанції (до вимикача Q). Після ввімкнення вимикача Q, резервний захист, як і основний, виконує контроль опору ізоляції і захист від струму витоку по всій мережі, на яку подана напруга.

Пристрої захисту виконуються таким чином, що з початку спрацьовує основний захист (він більш чутливий). При відмові основного захисту – спрацьовує резервний, і за допомогою комплектного розподільчого пристрою вимикається трансформаторна підстанція.

Якщо замикання на землю мають місце у вторинній обмотці трансформатора, то також спрацьовує резервний захист.

Після вимикання автоматичного вимикача, основний захист продовжує працювати і контролювати стан ізоляції, виконуючи роль блокуючого реле витоків, попереджує ввімкнення автоматичного вимикача на пошкоджену ізоляцію.

Зниження короткочасних струмів витоку (струмів через тіло людини) забезпечується блоком БКЗ, в склад якого входять пристрої: статичної компенсації ємнісних струмів витоку; виявлення фази з пошкодженою ізоляцією та замикання її на землю. Компенсуючий дросель L налаштовано на половину максимального значення ємності мережі. Подальше зниження струму витоку виконується короткозамикачем, що включається в роботу після спрацювання К2 основного захисту БЗВ. При доторканні, наприклад, до фази А, спрацьовує БЗВ, потім БКЗ своїм контактом $К_А$ замикає фазу А на землю, знижуючи тим самим струм через тіло людини до безпечного рівня.

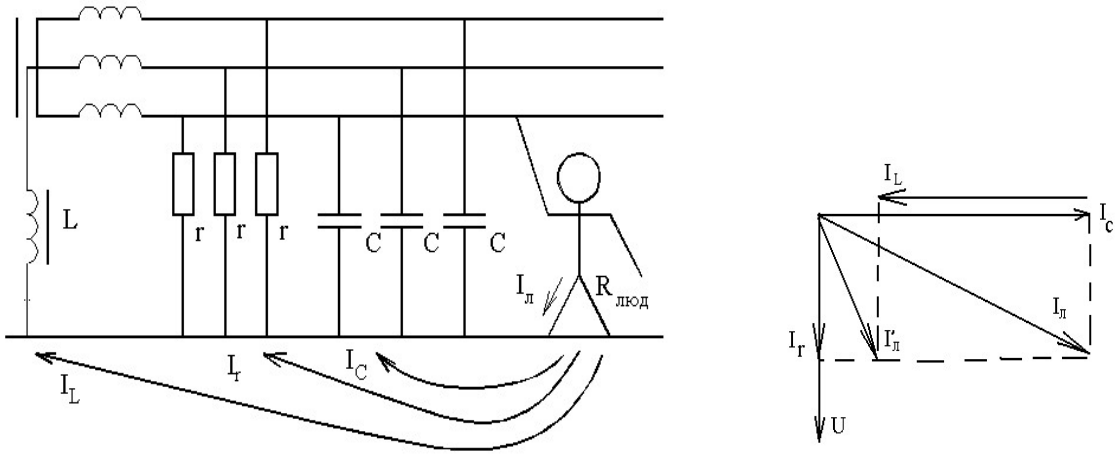
## 4.3. Компенсація ємнісної провідності мережі

В існуючих електричних мережах шахт і кар'єрів, які мають ємність відносно землі, струм через людину, що доторкнулася фази, здебільшого визначається ємнісною складовою повного опору ізоляції мережі. В підземних дільничних мережах ПБ обмежують ємність мережі значенням 1 мкФ/фазу, в підземних розподільчих мережах ємність мережі досягає 8...10 мкФ/фазу, а в кар'єрних розподільчих мережах 1...3 мкФ/фазу. Тому в цих мережах, при експлуатації одним із принципів захисту від враження електричним струмом, є компенсація ємнісної складової струму, що протікає через людину. Принцип компенсації ємнісного струму витоку полягає в підключенні до мережі дроселя з індуктивністю, налаштованого в резонанс з ємністю мережі:

$$\omega L_K = \frac{1}{\omega C_C}. \qquad (4.26)$$

Однак ця умова на практиці не може бути виконана через постійні зміни ємності (підключення та відключення окремих приєднань).

На рис. 4.13 показана схема мережі та векторна діаграма, що пояснюють принцип компенсації ємності мережі.




а) б)

Рис. 4.13. Схема мережі (а) та векторна діаграма (б), що пояснює принцип компенсації ємності мережі

При приєднанні між нейтраллю мережі і землею дроселя з індуктивністю $L_к$, струм через тіло людини складається із суми активної, ємнісної та індуктивної складових струму замикання на землю.

Тому в цих мережах на практиці використовують два види компенсації:

- статичну компенсацію ємності мережі, коли індуктивність дроселя вибирається на середнє значення ємності мережі;

- динамічну компенсацію ємності мережі, коли індуктивність дроселя регулюється автоматично в залежності від зміни ємності.

При статичній компенсації, реактивна складова струму через людину може бути зменшена в два рази (рис. 4.14), тобто статична компенсація ємності є малоефективною.

В більшості сучасних засобів захисного відключення приймають автоматичні пристрої компенсації ємності мережі, в функції яких закладено принцип зміни індуктивності компенсуючого дроселя в залежності від ємності мережі, тобто повинна виконуватись залежність:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}. \qquad (4.27)$$

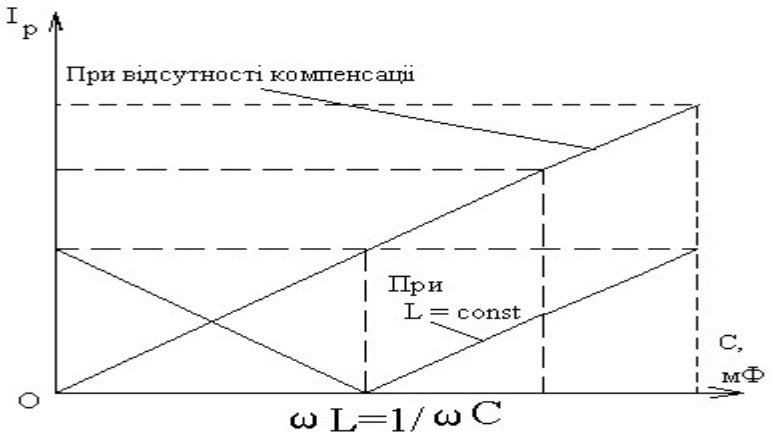



Рис. 4.14. Залежність реактивного струму через людину від ємності мережі

За способом підключення компенсуючого дроселя до мережі пристрої автоматичної компенсації поділяються на два класи:

а) пристрої з підключенням компенсуючого дроселя між нейтраллю (або штучною нульовою точкою) мережі та землею;

б) пристрої з пофазовим підключенням компенсуючого дроселя.

За принципами автоматичної компенсації ємності мережі є такі пристрої, як:

1. Пристрої з налаштуванням дроселя на резонанс при нормальній роботі мережі: екстремальними регуляторами; вимірюванням реактивної провідності контуру нульової послідовності; вимірюванням кута між напругою нульової послідовності та опорною напругою з використанням оперативного струму підвищеної частоти (цей метод одержав найбільше поширення);

2. Пристрої з налаштуванням дроселя на резонанс при появі витоку на землю: вимірюванням кута між напругою нульової послідовності та струмом замикання на землю; вимірюванням кута між напругою нульової послідовності та струмом реактивних опорів, підключених до фаз мережі.

Більшість із цих принципів через складність, інерційність дії не знайшли використання. Найбільше поширені пристрої розроблені УкрНДІВЕ з налаштованими в резонанс дроселями з підмагнічуванням (рис. 4.15).

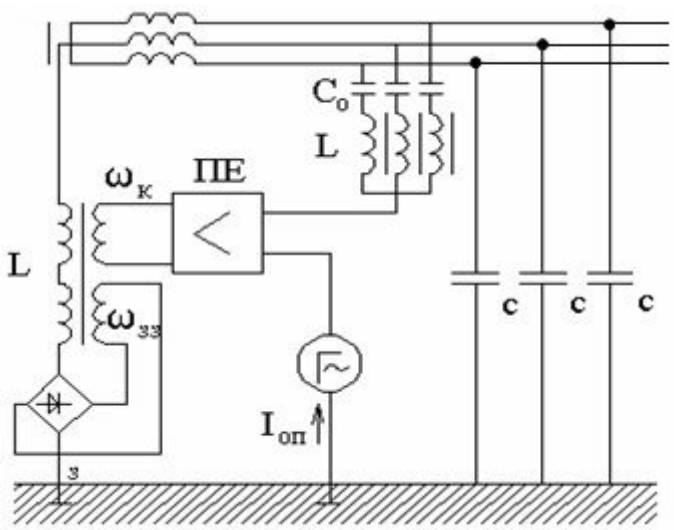



Рис. 4.15. Структурна схема пристрою автоматичної компенсації ємності з використанням струму підвищеної частоти

Для отримання лінійної характеристики дроселя використовують обмотки зворотного зв'язку (ОЗЗ). Параметри дроселя підбираються так, щоб була пропорційність між струмом підмагнічування та індуктивною провідністю робочої обмотки дроселя, щоб струм підмагнічування визначався ємністю мережі. Використовується при цьому оперативна напруга підвищеної частоти. В якості компенсаційного дроселя використовується тристрижневий магнітопровід. На крайніх стрижнях магнітопроводу розміщується робоча обмотка дроселя, яка поділена на дві обмотки змінного струму. Вони мають однакову кількість витків і намотані зустрічно. На середньому стрижні розміщують обмотку керування і обмотку зворотного зв'язку. Перша служить для створення магнітного потоку підмагнічування. Постійний магнітний потік підмагнічування накладається на змінний потік на крайніх стрижнях, в результаті в одному з крайніх стрижнів магнітні потоки складаються, що викликає насичення цього стрижня і відповідну зміну індуктивності дроселя. Компенсаційне устаткування використовують в єдиному блоці з реле витоків.

Компенсація ємнісної провідності мережі є також одним із засобів підвищення надійності роботи розподільчої мережі 6...10 кВ. Струм замикання на землю в цих мережах визначається також ємністю мережі відносно землі. При несталих замиканнях на землю існують значні перенапруги в мережі до чотирикратних від значення фазної напруги, що може викликати додаткові багатократні пошкодження мережі. При струмах КЗ на землю більше 5 А рекомендовано використовувати засоби компенсації ємнісної провідності мережі. Компенсаційні устаткування можуть бути в одно- і трифазному виконанні. Практично використовують однофазні устаткування. Так як часто силові трансформатори використовують з обмотками 6...10 кВ, з'єднаними за схемою трикутника, то для підключення компенсаційного устаткування у нейтраль, використовують або трансформатори власних потреб підстанцій з первинною обмоткою зібраною за схемою зірки, або підключенням спеціального трансформатора напруги (рис. 4.16) зі схемою з'єднання первинної обмотки в

зірку з виводом нульової точки для підключення пристрою компенсації. До устаткування компенсації ставляться вимоги: простота конструкції; можливість плавного регулювання індуктивного струму; невеликі втрати потужності; швидкодія; простота і зручність експлуатації.

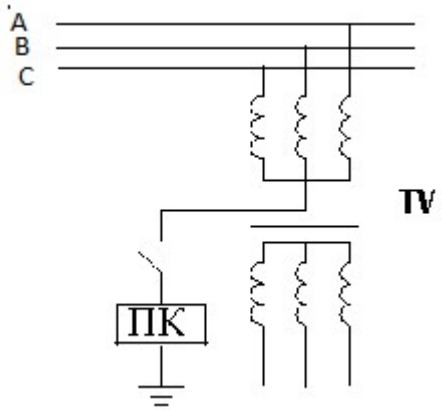



Рис. 4.16. Схема підключення компенсаційного пристрою до мережі

Компенсаційні пристрої поділяються на пристрої зі ступеневим (котушки з відпайками) та плавним регулюванням (з регулюванням повітряного проміжку – плунжерні пристрої, та з підмагнічуванням).

## Контрольні запитання

*1. Сформулюйте принципи функціонування захисного відключення, вимоги, характеристики та функції захисного відключення.*

*2. Поясніть роботу схем захисного відключення, що працюють на випрямлених струмах мережі, що контролюється, з послідовним та паралельним підключенням вимірювального органу.*

*3. Поясніть роботу схем захисного відключення на оперативній напрузі постійного струму стороннього джерела та оперативній напрузі підвищеної (пониженої) частоти.*

*4. Що таке засоби захисного відключення на диференціальних струмах, який їх принцип роботи та класифікація?*

*5. Як виконується компенсація ємнісної провідності мережі відносно землі?*

# ЛЕКЦІЯ 5. Засоби попередження вибухів від електричного струму

5.1. Вибухо- та пожежонебезпечні середовища та їх класифікація.

5.2. Вибухонебезпечні суміші в підземних виробках геотехнічних підприємств.

5.3. Джерела підпалювання рудникового газу.

5.4. Оцінка іскробезпеки електричних кіл.

5.5. Попередження пожеж від електричного струму на геотехнічних підприємствах.

5.5.1. Причини виникнення пожеж від електричного струму.

5.5.2. Засоби попередження пожеж.

5.5.3. Локалізація та гасіння пожеж в електроустановках.

## 5.1. Вибухо- та пожежонебезпечні середовища та їх класифікація

В сучасних умовах на промислових підприємствах, де мають місце виробництва з вибухонебезпечним середовищем, використовують різне електрообладнання. Безпечне його використання неможливе без знання умов появи вибухонебезпечного середовища та його властивостей. Вибухонебезпечні середовища можуть мати місце як в гірничих виробках гірничих підприємств (вугільні, калійні шахти), так і в ряді виробництв нафтової, газової, нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної та деяких інших галузей промисловості.

Всі речовини, які використовуються у промисловості, за горючістю можуть бути поділені на:

- негорючі – не здатні горіти та розповсюджувати горіння;

- важкогорючі – речовини та матеріали, які горять тільки в зоні дії джерела запалювання, а після його ліквідації не горять;

- горючі – після підпалення горять самостійно та розповсюджують горіння.

За температурою підпалювання їх можна поділити на важкоспалахуючі (загоряються важко) та легкоспалахуючі (легко загоряються від короткочасної дії відносно слабких джерел запалювання та сприяють швидкому розповсюдженню горіння).

Стосовно електрообладнання, що використовується в небезпечних середовищах, найбільшу цікавість представляють горючі гази, легкоспалахуючі рідини, пари яких здатні створювати вибухонебезпечне середовище.

Вибухонебезпечне середовище – це середовище, яке містить вибухонебезпечні речовини у такій кількості і в такому стані, при якому вони можуть утворювати з повітрям або іншим окислювачем вибухонебезпечні суміші. Суміші вибухонебезпечних речовин із повітрям поділяють на: газоподібні (метан, пропан, бутан, водень, сірководень, сірковуглець та ін.); пароподібні (бензин, ацетон, спирти, ефіри, бензол та ін.); тверді пилоподібні (сірка, вугілля, органічні речовини, волокна та ін.).

Вибухонебезпечне середовище, за концентрацією вмісту горючих речовин, характеризується межами вибуховості. Межа вибуховості – це таке співвідношення газів чи парів легкоспалахуючих рідин та повітря або іншого окислювача, при якому суміш втрачає здатність вибухати від якогось джерела підпалювання.

При нижній межі запалювання не відбувається через нестачу горючої речовини, а при верхній – через нестачу окислювача. Чим менше нижня межа концентрації вибуховості, та чим більший діапазон між нижньою та верхньою межею, тим небезпечнішим є газ або пари, тому що ймовірність утворення вибухонебезпечної концентрації збільшується.

В практиці промислового виробництва використовується велика кількість (більше 2000) різних горючих газів та парів, які в суміші з повітрям, киснем чи іншим окислювачем (наприклад з хлором) можуть створювати вибухо- чи пожежонебезпечні суміші.

Загальноприйнятим є те, що пари легкоспалахуючих рідин відносяться до вибухонебезпечних, якщо температура спалаху цих рідин не перевищує 45 $^0$С, а пари таких рідин, що мають температуру вищу за 45 $^0$С – до пожежонебезпечних.

Горючі гази відносяться до вибухонебезпечних при будь-яких температурах довкілля. Горючий пил чи волокна відносять до вибухонебезпечних, якщо нижня межа їх вибуховості не перевищує 65 г/м$^3$, інші відносять до пожежонебезпечних. Однак такий поділ на пожежо- та вибухонебезпечні суміші є в якійсь мірі умовним.

Незважаючи на різницю фізико-хімічних властивостей горючих сумішей, у них можна знайти спільність вибухонебезпечних властивостей, серед яких найбільш важливими для практики є: критичні зазори вибухонебезпечних з'єднань оболонок; температура самозаймання, струми або напруги самозаймання; мінімальні енергії підпалення. Об'єднання горючих сумішей у групи із спільними властивостями дозволяє успішно вирішувати питання класифікації виробництв за рівнем вибухонебезпеки, що спрощує також розробку, виготовлення та експлуатацію електрообладнання в умовах вибухонебезпечних виробництв. Об'єднуючи різні горючі суміші у спільні групи, до вибухонебезпечних властивостей електрообладнання ставляться однакові вимоги. Це дає можливість максимально уніфікувати конструкцію вибухобезпечного обладнання, зробити загальними принципи його маркування і таке інше.

В основі чинної класифікації вибухонебезпечних сумішей покладено два параметри: величина критичної щілини між плоскими фланцями оболонки та температура самоспалахування. Ця класифікація нормується ДСТУ EN 60079-20-1:2017, що повністю відповідає європейським нормам EN 60079-20-1:2010.

В залежності від здатності передачі вибуху через щілини в стандартній оболонці, встановлено чотири категорії вибухонебезпечних сумішей. При цьому величина максимальної безпечної експериментальної щілини між фланцями довжиною 25 мм для цих категорій складає:

I. Рудникові гази – більше 1.0 мм;

II. Промислові гази та пари легкоспалахуючих рідин:

II.А – більше 0.9 мм;

II.Б – від 0.5 до 0.9 мм; II.С - до 0.5 мм.

В залежності від температури самозаймання встановлено 6 груп вибухонебезпечних сумішей:

- Т1 – більше 450 $^0$С;
- Т2 –від 300 до 450 $^0$С;
- Т3 –від 200 до 300 $^0$С;
- Т4 –від 135 до 300 $^0$С;
- Т5 –від 100 до 135 $^0$С;
- Т6 –від 85 до 100 $^0$С.

Віднесення вибухонебезпечних сумішей до категорій та груп входить до компетенції спеціалістів організації Українського наукового дослідного інституту вибухобезпечного електрообладнання (УкрНДІВЕ).

У свою чергу, згідно вимог ПУЕ, зони вибухонебезпечних приміщень та зовнішніх установок, в яких, в умовах технологічних процесів, можуть створюватись вибухонебезпечні суміші, діляться на класи.

Клас вибухонебезпечної зони, згідно з яким виконується вибір і розміщення електроустановок, в залежності від частоти і тривалості присутнього вибухонебезпечного середовища визначаться технологами разом з електриками проектної або експлуатаційної організації. Клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші відображаються в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухо-пожежонебезпеки.

Класи вибухонебезпечних зон регламентуються (в Україні) новими Правилами будови електроустановок і практично відповідають встановленим в Європі стандартам МЕК79-10 та Європейського співробітництва CENELEC EN 60079-10 та EN 1127-1. Дещо інша класифікація вибухонебезпечних зон встановлюється ПУЕ.

Газо-пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні – вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 – це простір, в якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу. Ця зона може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 (приблизно відповідає класу В-І за (ПУЕ) – простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворюватись під час нормальної роботи (коли установка працює з розрахунковими параметрами).

Вибухонебезпечна зона класу 2 (В-Іа, В-Іб, ВІв – за ПУЕ) – простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. Частоту виникнення і тривалості вибухонебезпечного середовища визначають за нормами відповідних галузей промисловості.

Вибухонебезпечна зона класу 20 – простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або частково в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові хмари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 – простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари у кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації (відповідає класу В-ІІ за ПУЕ).

Вибухонебезпечна зона класу 22 – простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з’являтися не часто і існувати недовго, або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії (клас В-ІІа за ПУЕ).

Крім того, згідно з ПУЕ, пожежонебезпечними називаються приміщення чи зовнішні установки в яких використовуються або зберігаються горючі речовини. При цьому в них рекомендують розміщувати електрообладнання, приймаючи до уваги умови його експлуатації, щоб віддаляти його від місць скупчення горючих матеріалів. Пожежонебезпечні приміщення ділять на наступні класи:

- П-І – приміщення, де використовуються або зберігаються горючі речовини з температурою спалаху парів більше 45 $^0$С;

- П-ІІ – приміщення, де виділяються горючі пил чи волокна. При цьому може з'являтись тільки пожежа, а не вибух, тому що вони мають такі фізичні властивості, при яких нижня межа вибуху складає більше 65 г/м$^3$ або за умовами експлуатації їх концентрація в повітрі не досягає вибухонебезпечної концентрації;

- П-ІІІ – зовнішні установки, в яких використовують або зберігають горючі рідини з температурою спалаху парів більше 45 $^0$С.

Явище горіння являє собою хімічний процес окислювання, що супроводжується виділенням тепла та світла.

Вибух – це реакція горіння, для якої характерним є те, що полум'я дуже швидко розповсюджується на весь об'єм суміші, при цьому має місце значне підвищення тиску. Треба також відмітити, що спалах газоповітряної суміші проходить з деяким запізненням по відношенню до появи джерела з тепловою енергією, достатньою для підпалювання суміші.

В наш час мають місце дві теорії, що пояснюють процес спалахування вибухонебезпечної суміші: теорія теплового вибуху та теорія ланцюгового вибуху. Обидві теорії базуються на результатах кінетичної теорії. Теплова теорія докладно не розглядає хімізм процесу горіння. Для обґрунтування теорії ланцюгового вибуху, основоположником якої є академік М.М. Семенов, необхідно знати точно хід хімічної реакції.

В основу теплової теорії покладено молекулярний рух газу, який приводить до постійних зіткнень між його молекулами. Коли газ нагрівається, збільшується кількість ударів з енергією активації. Екзотермічна реакція віддаючи тепло,

підвищує температуру молекул для наступних ударів, які проходять з більшою кількістю енергії і знову приводять до хімічної реакції. Таким чином кількість тепла збільшується і наступає лавиноподібне збільшення ударів з енергією активації, наступає вибух суміші. Однак цілий ряд явищ, які були виявлені в експериментах не узгоджується з таким простим представленням механізму горіння, яке дає теплова теорія. Пояснення їх можливе за допомогою ланцюгової теорії, за якої для виникнення вибуху необхідна ще наявність вільних атомів і радикалів H, OH, $CH_3$ та ін.

## 5.2. Вибухонебезпечні суміші в підземних виробках геотехнічних підприємств

Вибухонебезпечні речовини в підземних виробках виділяються в процесі добування ряду корисних копалин: вугілля (метан), калійної солі (водень), озокериту (сірководень).

Рудниковими газами називають природні гази, що виділяються з корисної копалини та оточуючих її порід та технологічні гази, що утворюються в підземних виробках в результаті хімічних та біохімічних реакцій між киснем повітря та вугіллям, породами, дерев'яним кріпленням, при буровибухових роботах та ін. Основним компонентом рудникових газів у вугільних шахтах, небезпечних за газом, є метан ($CH_4$) та його гомологи, вуглекислий газ ($CO_2$), окис вуглецю (CO), азот ($N_2$) та його оксиди. Найбільшу небезпеку представляють вибухонебезпечні гази, що складаються з метану, його гомологів (етану, пропану, бутану), водню (в невеликій кількості) та інших горючих газів. Кількість метану, який виділяється, залежить від гірничо-геологічних умов, газоносності пластів, особливостей технологічного процесу. Основним джерелом виділення метану є свіжі оголені площини в підготовчих виробках, площини очисних вибоїв, які постійно оновлюються, та відбите вугілля.

При розробці пластів, небезпечних за раптовими викидами вугілля та газу, нерідко виробки заповнюються газом в перші ж хвилини після викиду, а концентрація метану в прилеглих до викиду виробках може досягати 90...100 %.

Вибух газоповітряної суміші в обмеженому просторі гірничих виробок веде до дуже тяжких, часто катастрофічних, наслідків. Результатами вибуху можуть бути людські жертви, руйнування гірничих виробок, обладнання і таке інше, що веде до виходу з ладу дільниці, де відбувся вибух, а іноді і всієї шахти на довгий час.

Слід відрізняти рудникове вибухонебезпечне електрообладнання та вибухонебезпечне обладнання для вибухонебезпечних приміщень та зовнішніх установок. Вибухонебезпечне електрообладнання повинно проходити державні випробування для отримання дозволу на його серійний випуск та експлуатацію.

В вугільних шахтах атмосфера підземних виробок складається із суміші повітря з метаном, а також з вугільним пилом у завислому стані.

Особливості гірничого підприємства і наявність вибухонебезпечної атмосфери потребує використання в шахті електрообладнання у спеціальному рудниковому вибухозахищеному виконанні. Вибухозехищене електрообладнання виготовляється та використовується у відповідності із вимогами ПУЕ та Правил виготовлення вибухонебезпечного рудникового електрообладнання (ПВВРЕ).

Метано-повітряна суміш є більш небезпечною, ніж суміш повітря із вугільним пилом, тому, з точки зору електрообладнання, потрібно забезпечити його захист для метано-повітряної суміші. Нижня та верхня межа вибуховості для метано-повітряної суміші складає відповідно концентрації 4,9 % та 16 % метану, а для воднево-повітряної суміші відповідно 4 % та 74 % водню.

Найбільш небезпечна (оптимальна) концентрація, коли суміш вибухає найлегше та створює максимальний тиск при вибухах, для метану знаходиться в межах 5...9 %, а для водню відповідно 4...74 %.

Однак межі вибуховості, як і значення оптимальної концентрації, не залишаються постійними і залежать від ряду факторів (початкової температури

суміші, тиску, величини початкового підпалюючого імпульсу та ін.). Оптимальна концентрація однієї і тієї ж суміші не однакова при різних джерелах підпалювання. Так, метано-повітряна суміш найбільш легко спалахує від електричних іскор при концентрації близько 8,5 % метану, нитками підпалювання – при 9,8 %, іскрами тертя – при концентрації 6,4...7,4 %.

Температура спалаху рудникового газу також не є постійною і змінюється в залежності від великої кількості факторів в широких межах (650...750 $^0$C). Вона залежить від енергії джерела підпалювання, зовнішньої температури, початкового тиску та ін.

Другим важливим фактором (за концентрацією метану), який визначає умови спалаху вибухонебезпечної шахтної атмосфери, є здатність джерела підпалити це середовище.

## 5.3. Джерела підпалювання рудникового газу

Згідно з правилами безпеки розрізняють два способи спалахування вибухонебезпечних сумішей: самоспалахування та вимушене спалахування.

Самозаймання – це одночасне або майже одночасне виникнення реакції горіння в усій суміші, що нагрівається в замкненому просторі до відповідної температури – температури само займання.

При наявності якого-небудь джерела з достатньою потужністю, з’являється локальний підігрів суміші до температури, при якій проходить її займання. Подальший вплив джерела може бути виключеним, розповсюдження горіння іде з відповідною швидкістю без зовнішнього втручання. Вимушене займання є характерним процесом, з врахуванням якого повинно розроблятися та використовуватись вибухобезпечне електрообладнання. При цьому найбільший інтерес має підпалювання вибухонебезпечної шахтної атмосфери за допомогою наступних джерел вимушеного займання:

1. Підпалювання відкритим полум'ям.

Можливі два випадки:

- полум'я вводиться в суміш (ламінарний потік) – займання чи не займання суміші залежить від складу суміші, тривалості стикання полум'я та холодної суміші, тиску, наявності інертного розбавлювача і таке інше. Головними факторами є температура на фронті полум'я та час контакту його з холодною сумішшю;

- полум'я розповсюджується через вузький отвір з одного об'єму в інший (турбулентний потік) – займання залежить від ступеню гасіння полум'я вузькими стінками. Явище гасіння полум'я пов'язане з відведенням тепла в стінки каналу. Цей принцип покладено в створення вибухобезпечного електрообладнання, що вміщується в вибухонепроникні оболонки.

2. Підпалювання за допомогою нагрітої поверхні електрообладнання, ниток розжарення та інших джерел.

Встановлено, що підпалювання нагрітою поверхнею мають ті ж закони, що і при самозайманні, з різницею лише в тому, що підпалювання суміші має місце не в усьому об'ємі, а у відповідному місці. Температура підпалення нагрітою поверхнею перевищує температуру самозаймання. Чим менша площа, тим вища температура. Температура займання підвищується при переміщенні суміші відносно нагрітої поверхні. На температуру займання має вплив матеріал поверхні і її площа.

Нитки розжарення мають робочу температуру близько 2000 $^0$С, при якій вольфрам інтенсивно окислюється в повітрі, утворюючи полум'я.

Займання метану від ниток розжарювання, при руйнуванні колби лампи, проходить практично без затримки. Для попередження займання, час охолодження ниток до безпечної температури не повинен перебільшувати період запалювання метану з оптимальною концентрацією. Досягається це за рахунок одночасного із руйнуванням колби відключенням лампи від мережі, а також

використанням засобів для затримання моменту контакту метану з нитками розжарювання, поки їх температура не зменшиться до безпечної.

Необхідний час для затримки складає 30...160 мс, в залежності від типу ламп, а безпечною є температура 1290...1980 $^0$С. Для ниток малопотужних ламп розжарювання та електронних ламп час охолодження є меншим за час підпалювання метану.

3. Підпалювання іскрами тертя і співудару. Виникають при механічній взаємодії поверхонь, що труться одна з другою. Іскри з'являються за рахунок теплоти тертя, а також за рахунок екзотермічної реакції окислення металевих частинок.

При терті металевих частин з'являються локальні зони нагріву внаслідок шорсткості поверхонь. Має місце відрив та окислення частинок металу з виділенням додаткового тепла. Чим вище початкова температура частинок, тим більше швидкість окислення та додаткове тепло, що виділяється при цьому. При оптимальному співвідношенні цих параметрів має місце спалах вибухонебезпечного середовища.

Особливий характер підпалювання спостерігається при співударянні алюмінієвих сплавів із кородованою сталевою поверхнею та в разі співударяння алюмінієвих деталей, на поверхнях яких є плівки оксиду товщиною більше 2...5 мкм. В режимі тертя з поверхні зриваються частинки заліза та алюмінію. Оксиди заліза сприяють розігріву алюмінієвих частинок внаслідок термітної реакції, що є джерелом додаткової температури.

Приймаючи до уваги, що алюмінієві сплави є іскронебезпечними, їх використання в конструкціях рудникового електрообладнання допускається лише для виготовлення оболонок електричного інструменту та переносних приладів (ручні електросвердла, світильники, апаратура зв'язку та сигналізації). При цьому оболонки та виступаючі частини такого обладнання повинні мати захисне покриття з матеріалів, безпечних відносно іскор тертя (цинкове покриття товщиною 0,15...0,2 мм, фарби на основі епоксидних смол).

4. Підпалювання розжареними металевими частинками. Виникають в результаті потужних коротких замикань в оболонках обладнання і вилітають крізь їх щілини, або в кабелях. Процеси, що мають місце при цьому, є аналогічними попередньому випадку. При цьому найбільшу небезпеку являють собою частинки алюмінію. Тому в шахтах, небезпечних за газом та вугільним пилом, заборонено використання кабелів з алюмінієвими жилами, та алюмінієвих проводів в електрообладнанні. При використанні комплектуючих виробів з корпусами чи іншими деталями з алюмінію або його сплавів, вони повинні розташовуватись у відповідних місцях по відношенню до вибухозахисних щілин, згідно з вимогами Правил виготовлення вибухонебезпечного рудникового електрообладнання.

5. Підпалювання джерелами лазерного випромінювання. В гірничій справі лазери використовуються головним чином при маркшейдерських роботах. Лазерне випромінювання, маючи дуже вузький пучок, характеризується високою концентрацією енергії. Лазерне випромінювання буває імпульсним, безперервним та періодичним.

В порівнянні з іскрами електричного та механічного походження, лазерне випромінювання є новим (фототермічним) джерелом підпалювання.

Імпульсне лазерне випромінювання являє собою концентрований пучок світла, здатний викликати оптичний пробій газового середовища та запалити вибухонебезпечну суміш.

Рудникова атмосфера спалахує від імпульсу лазерного випромінювання при менших витратах енергії, якщо в атмосфері присутній зважений вугільний пил або якщо на шляху лазерного променю зустрічається перепона у вигляді вугільної мішені.

В якості підпалюючої інтенсивності лазерного імпульсу приймають таку, що підпалює вибухонебезпечну суміш з імовірністю 0,5. За фотобезпечну інтенсивність імпульсу прийнято в 5 разів менше значення, ніж підпалююча інтенсивність, що оцінюється шляхом контрольних досліджень.

Неперервне лазерне випромінювання є небезпечним за рахунок нагріву до високої температури матеріалу в місці падіння променя. Критерієм фотобезпеки неперервного випромінювання є відповідна критична температура, безпечна для шахтної атмосфери.

Імпульсне періодичне лазерне випромінювання може бути небезпечним відносно підпалювання оптичним пробоєм та нагрівом до високих температур вугільного пилу, що осів на нагрітій металевій поверхні оболонки електрообладнання.

6. Підпалювання вибухонебезпечного середовища електричними іскрами, дугами, розрядами. З'являються при обриві або замиканні електричних кіл, а також при розряді статичної електрики. Це одне з основних джерел підпалювання вибухонебезпечних сумішей. Особливістю такого підпалювання є те, що у розрядному проміжку невеликого об'єму сконцентрована велика енергія. У зоні розряду відбувається передача енергії молекулам газу, приведення їх в стан інтенсивного збудження та іонізації. Починається процес горіння – екзотермічна реакція окислення, що супроводжується сильним підвищенням температури газу в іскровому проміжку. Хоч кожний електричний розряд викликає спалах суміші навколо іскри, розвиток ядра полум'я, що виникло після іскрового розряду, має місце не завжди. Лише при досягненні ядром критичного об'єму, при якому компенсуються втрати тепла і підтримується необхідна висока температура горіння, воно може виявитись спроможним до саморозповсюдження.

Здатність електричного розряду підпалювати суміш характеризується мінімальною енергією підпалювання, яка залежить від фізико-хімічних властивостей суміші: початкового тиску, температури, складу суміші, довжини іскрового проміжку, тривалості розряду, форми електродів, їх матеріалів та ін. Теплова енергія електричного розряду, що виникає при комутаціях, не повністю витрачається на нагрівання суміші, значна її частина йде на нагрів контактів, випромінювання та інші втрати.

В результаті експериментальних досліджень багатьох дослідників нині одержані характеристики іскробезпеки для всіх представницьких вибухонебезпечних сумішей, що використовуються в промисловості. Так, для метано-повітряної суміші оптимальної концентрації, мінімальна енергія підпалювання встановлена рівною 0,28 мДж, для воднево-повітряної – 0,019 мДж. Однак без достатнього обґрунтування ці значення не можна вважати межею підпалювання сумішей та прийняти їх за фізичну константу. Результати дослідження мінімальної енергії підпалювання метано-повітряної суміші від часу дії електричного розряду дають підставу припустити, що вона значно менша (≈ 0,15 ÷ 0,2 мДж).

Зв'язок між запалювальними можливостями електричних розрядів та параметрами електричного кола визначається перехідними процесами в електричному колі, самим розрядом, процесом нагріву суміші до необхідної температури, розповсюдженням полум'я в навколишній суміші. Всі ці явища зв'язані настільки складною залежністю, що одержати аналітичну залежність навіть для найпростіших кіл практично не вдається. Для оцінки запалювальних здібностей електричних розрядів в електричних колах користуються характеристиками іскробезпеки, одержаними експериментально. Для зручності одержання цих характеристик, всі електричні кола умовно поділяють на три види:

1. Омічні (не мають зосередженої ємності, індуктивність не перевищує 0,001 Гн, запалювальна здатність залежить від сили струму в колі та ЕРС джерела);

2. Індуктивні (запалювальна здатність визначається силою струму, ЕРС джерела та індуктивністю);

3. Ємнісні (запалювальна здатність визначається напругою на ємності, значенням ємності та опором розрядного контуру).

## 5.4. Оцінка іскробезпеки електричних кіл

На практиці велике значення має встановлення межі іскробезпеки електричних кіл для різних умов. Як уже зазначалося, явище підпалювання електричними розрядами вибухонебезпечної суміші залежить від великої кількості факторів, тобто носить імовірнісний характер. Для одержання порівняльних результатів використовується статистичний метод оцінки запропонований проф. В.С. Кравченко.

Для різних умов іскроутворення, ймовірність спалаху, що визначається як відношення кількості вибухів до загальної кількості іскріння електричної схеми, має степеневу функцію струму, що розмикається: $P = AI^n$, або $P = bUc^m$ – для ємнісних кіл, де A, b, n, m – сталі величини, що визначаються експериментально.

В логарифмічній системі координат імовірнісні залежності мають вид прямих ліній (рис. 5.1). За їх допомогою можна експериментальні дані (струму, напруги та ін.) привести до умов рівноймовірного спалаху і потім одержати характеристики іскробезпеки і дати кількісну оцінку очікуваної зміни ймовірності спалаху при зміні вихідного параметру кола. Статистичний метод оцінки іскробезпеки використовують при експериментальній оцінці за допомогою дослідних установок (вибухових камер). При експериментальних дослідженнях умов спалаху вибухонебезпечної суміші у відповідних межах зміни струму, в залежності від параметрів схеми, проводиться велика кількість іскрінь схеми і експериментально будується залежність імовірності спалаху від струму в межах ймовірності $10^{-1}$ та$10^{-3}$.

Імовірність спалаху нижче $10^{-5}$ до цього часу одержати не вдалося, і, навіть, стабільне відтворення експериментів з імовірністю $10^{-4}$ ...$10^{-5}$ не вдається. Тому в якості струму спалахування (або напруги спалахування) приймаються значення, які відповідають імовірності спалахування $P=10^{-3}$. Для визначення сили струму з такою імовірністю спалахування, проводять серію експериментів, в якій при

виконанні 16000 розрядів з заданою силою струму має бути не більше 16 випадків спалахування вибухонебезпечної суміші.

Приймаючи до уваги, що залежності імовірності спалахування від струму в логарифмічних координатах мають лінійний характер, вони можуть бути шляхом екстраполяції подовжені до скільки завгодно малих імовірностей. За їх допомогою можливо одержати струми спалахування суміші для цих малих імовірностей. Для одержання значень струму або напруги спалахування, які прийняті абсолютно безпечними ($P \leq 10^{-8}$), введено коефіцієнт іскробезпеки $K_i=2$, тобто іскробезпечними струмами (напругами) приймаються значення в 2 рази менше струмів (напруг) спалаху. При цьому можна скористатись залежністю:

$$I_{\text{i}} = I_{\text{c}} \left( \frac{P_{\text{i}}}{P_{\text{c}}} \right)^{\frac{1}{\text{tg}\,\alpha}}, \qquad (5.1)$$

де $I_c$, $P_c$ – відомі сила струму та відповідна йому імовірність спалахування; $I_i$, $P_i$ – шукані сила струму та відповідна йому прийнята імовірність спалахування; $\alpha$ – кут нахилу імовірнісної прямої до вісі абсцис.

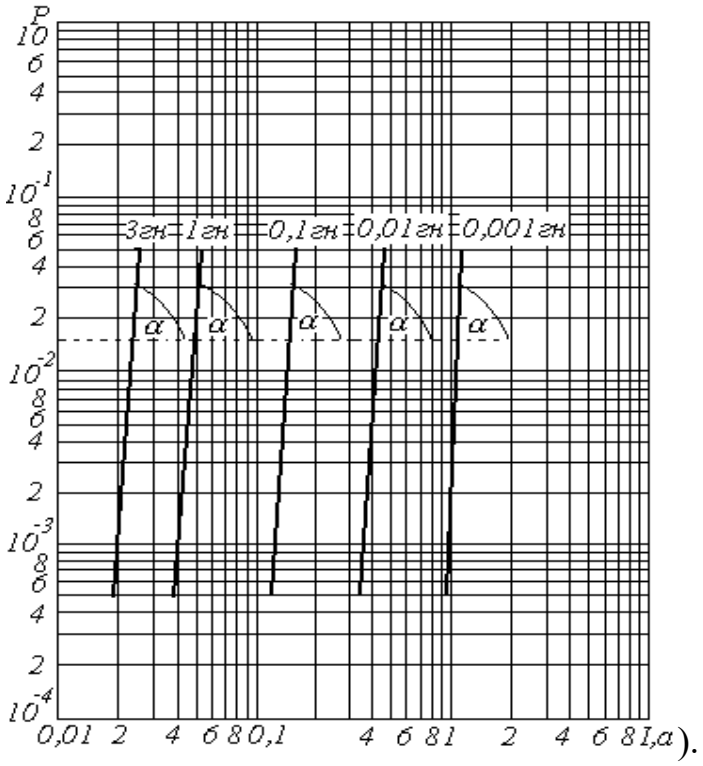



Рис. 5.1. Залежність імовірності спалаху метано-повітряної суміші від струму та індуктивності (за даними Мак НДІ)

Приймаючи коефіцієнт іскробезпеки $K_i$=2, при відомому значенні струму спалахування $I_c$, іскробезпечний струм:

$$I_c \le \frac{I_c}{K_i} = \frac{I_c}{2}. \qquad (5.2)$$

Оцінку іскробезпеки простих кіл, без використання камер, можна здійснити за допомогою залежностей струму спалаху від напруги для омічних кіл (рис. 5.2), струму спалаху від індуктивності та напруги (рис. 5.3) для індуктивних кіл; напруги спалаху від ємності (рис. 5.4) для ємнісних кіл. Ці залежності були одержані на основі великої кількості накопиченого експериментального матеріалу. При цьому збільшений з урахування коефіцієнту іскробезпеки струм в колі не повинен перевищувати струму спалаху, зменшеного на 20%, тобто

$$K_i I_л \le 0{,}8 I_c, \qquad (5.3)$$

де $I_л$ – струм кола, А; $I_c$ – струм спалаху за кривими залежності для відповідних параметрів кола, А.

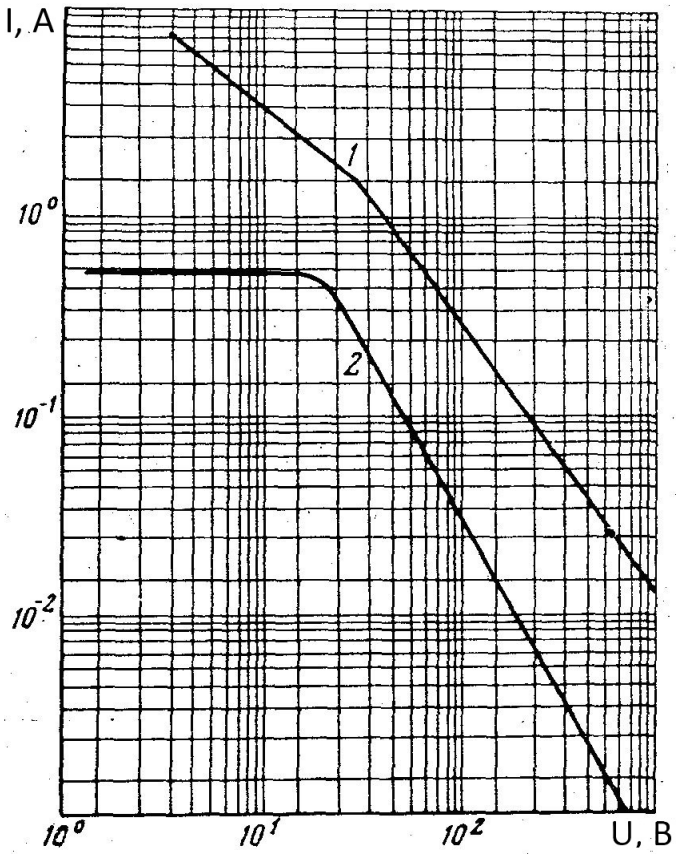



Рис. 5.2. Залежність струму спалаху від напруги джерела для малої індуктивності ($L=10^{-4}$Гн): 1 – метано-повітряна суміш; 2 – воднево-повітряна суміш

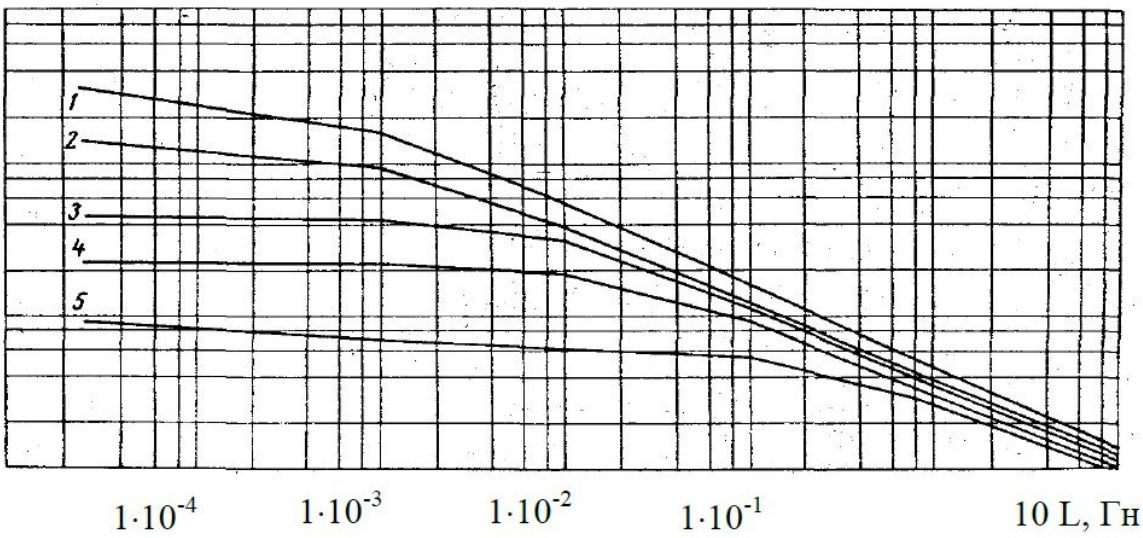



Рис. 5.3. Залежність струму спалаху від індуктивності та напруги джерела:
1 – для напруги 10 В; 2 – для напруги 30 В; 3 – для напруги 70 В; 4– для напруги 140 В;
5 – для напруги 250 В

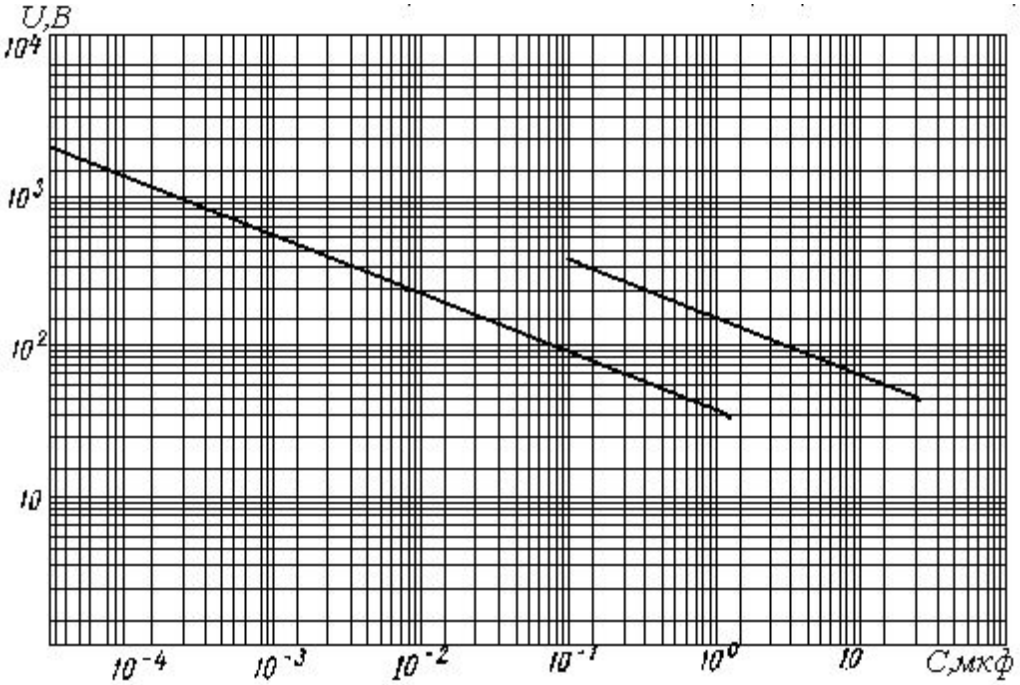



Рис. 5.4. Залежність напруги спалаху від ємності: 1 – метано-повітряна суміш;
2 – воднево-повітряна суміш

## 5.5. Попередження пожеж від електричного струму на геотехнічних підприємствах

### *5.5.1. Причини виникнення пожеж від електричного струму*

Підвищення електроозброєності праці веде одночасно до поширення можливості виникнення пожеж від електричного струму. Нині близько 20 % всіх пожеж відбувається з вини електричного струму, а в підземних виробках шахт та рудників електричний струм спричиняє близько 75 % пожеж, що виникають. Основними причинами загорянь та пожеж тут є короткі замикання в електроустановках, струмові перевантаження, виникнення електричних дуг, іскрінь, сильного нагрівання струмоведучих частин, спалахування горючих матеріалів, що знаходяться біля електроприймачів, залишених без нагляду та ін. Це є результатом наступних факторів:

- надмірне підвищення струму в колах внаслідок перевантажень і коротких замикань, що з'являються при пошкодженні ізоляції, зовнішніх механічних дій (ударів, перегинів і т.п.), дії хімічно активних речовин, вологи на ізоляцію кабелів та електрообладнання;
- розмикання під навантаженням контактних з'єднань або розрив, розріз, ламання провідників, навантажених струмом;
- ненормальний високий опір в місцях контактних з'єднань;
- замикання на землю і викликані цим струми витоків;
- несправність апаратів, які містять мастило;
- поява статичних розрядів;
- неправильний догляд за освітлювальними приладами з лампами розжарювання;
- спалахування горючих матеріалів, які знаходяться поблизу електричних приладів;

- пошкодження ізоляції обмоток двигунів, трансформаторів внаслідок систематичних перегрівів обмоток, дії вологи, мастила, вугільного пилу, появи міжвиткових замикань, двохфазних режимів і таке інше;

- перевищення допустимого часу існування короткого замикання;

- пожежна небезпека повітряних ліній при коротких замиканнях і розбризкуванні розплавленого металу та займання опор в результаті протікання струмів витоку на землю;

- пожежна небезпека трансформаторів з мастилом. При пошкодженні обмоток та неспрацюванні відповідного захисту можливий спалах мастила, вибух та розкидання горючого мастила на значній території.

Ще одна із причин доволі частих пожеж – використання електричного зварювання без відповідного застереження та прийняття необхідних заходів пожежобезпеки.

### *5.5.2. Засоби попередження пожеж*

Комплекс засобів попередження пожеж повинен забезпечувати імовірність виникнення пожеж на гірничих підприємствах не вище $10^{-6}$ за рік. Профілактика пожеж від електричного струму забезпечується серед інших наступними заходами:

- правильним вибором та експлуатацією електрообладнання (за допустимим струмом);

- правильним монтажем електричного обладнання та необхідним виконанням з’єднань в електричних колах;

- використанням в шахтах кабелів з негорючою оболонкою і гнучких екранованих кабелів;

- правильною експлуатацією масляного господарства (через кожні 6 місяців випробовують мастило на пробій, кожні 12 місяців – фізико-хімічний аналіз мастила);

- заміною мастила іншими компонентами, наприклад, кварцевим піском;

- встановленням електрообладнання з масляним наповненням в спеціальних камерах із пожежобезпечним кріпленням;

- ефективним провітрюванням камер з електрообладнанням;

- встановленням надійних засобів захисту, що забезпечують своєчасне відключення електрообладнання (у випадках його пошкодження) і правильним вибором уставок захисту;

- періодичним очищенням ламп розжарювання від пилу;

- просочуванням дерев'яних опор повітряних ЛЕП негорючими речовинами, наявністю грозозахисту ЛЕП та ін.

### *5.5.3. Локалізація та гасіння пожеж в електроустановках*

Гасіння пожеж (особливо підземних) відноситься до найбільш складних та небезпечних робіт, що супроводжуються значним тепловим випроміненням, яке ускладнює роботу людей поблизу осередку пожежі; отруєнням рудникової атмосфери токсичними продуктами горіння; сильним задимленням виробок.

Всі способи гасіння пожежі зводяться до перекриття доступу кисню до матеріалів, які горять, та зниження температури до рівня, що виключає повторне займання. В залежності від обставин використовують активні способи гасіння пожежі або гасіння пожеж шляхом його ізоляції, а також комбінацію цих способів.

**Активні способи** передбачають безпосередню дію на осередок пожежі вогнегасними засобами (водою, піною, інертними газами, піском, порошком та ін.), їх використовують в початковий період пожежі та у випадках, коли є доступ до осередку пожежі.

Гасіння пожежі шляхом її ізоляції полягає в припиненні доступу свіжого повітря до осередку пожежі за допомогою зведених раніше герметичних перемичок поблизу пожежі на свіжій та вихідній течіях повітря.

Для запобігання розповсюдженню пожежі в підземних виробках використовують зони з негорючим кріпленням, протипожежні двері, водяні завіси. Обов'язковим є наявність джерел води та необхідних її об'ємів, прокладання протипожежної, зрошувальної системи водопостачання, забезпечення необхідного тиску в них, розміщення засобів пожежогасіння у найбільш небезпечних з точки зору виникнення пожеж місцях та ін.

Крім води, до первинних засобів пожежогасіння належать ручні, стаціонарні та пересувні вогнегасники, пісок та інертний пил. Найбільш ефективними та мобільними засобами підземного пожежогасіння є вогнегасники. В шахтах використовують ручні вогнегасники – пінні, порошкові та аерозольні.

При гасінні пожеж електроустановок, в тому числі під напругою, ефективними є порошкові вогнегасники **ОП-8, ОП-8У, ОП-8Б** та ін.

Для гасіння пожеж в електроустановках під напругою можуть використовуватись ефективно аерозольні вогнегасники **ОГСМ-7.** Через токсичність аерозолю їх використовують за наявності засобів захисту органів дихання людей.

Для гасіння пожеж в електроустановках під напругою можуть використовуватись також порошкові вогнегасні установки **УП-500, УП-250** та подібні, що використовують енергію стисненого повітря для викиду вогнегасного порошку на осередок пожежі. Вони встановлюються на платформах шахтних вагонеток.

В електромашинних камерах для гасіння пожеж використовують також установки **УАП-2**, в яких для гасіння пожежі використовується повітряно-пінна суміш, що створюється шляхом змішування води із протипожежного трубопроводу та піноутворювача, що поступає зі спеціального бака-дозатора.

При гасінні пожеж в електроустановках перш за все, за можливості, необхідно зняти напругу з електроустановки.

## Контрольні запитання

*1. Як класифікуються вибухонебезпечні сумішей за здатністю передачі вибуху через вузькі щілини та температурою самозапалення?*

*2. Охарактеризуйте пожежонебезпечні, вибухонебезпечні зони та вибухонебезпечні суміші на геотехнічних підприємствах.*

*3. Які існують джерела запалювання вибухонебезпечних сумішей та рудникового газу?*

*4. Як проводиться оцінювання іскробезпеки електричних кіл? Що таке коефіцієнт іскробезпеки?*

*5. Наведіть причини появи небезпечного струму на гірничих підприємствах та види експлуатаційного захисту.*

# ЛЕКЦІЯ 6. Виконання електрообладнання загально-промислового та спеціального застосування

6.1. Виконання електрообладнання загальнопромислового застосування.

6.2. Рівні та види вибухозахисту, маркування вибухобезпечного електрообладнання.

6.3. Електрообладнання в рудниковому нормальному виконанні (РН) .

6.4. Електрообладнання в виконанні рудникове підвищеної надійності (захист виду "е").

6.5. Електрообладнання в вибухобезпечному виконанні.

6.6. Випереджувальне відключення.

6.7. Іскробезпечне виконання електрообладнання.

## 6.1. Виконання електрообладнання загальнопромислового застосування

При проектуванні, виборі та виготовленні електрообладнання необхідно враховувати зовнішнє середовище, в якому буде працювати обладнання. Це: кліматичні умови роботи та умови зберігання, транспортування електрообладнання з урахуванням температури, вологості, висоти над рівнем моря, інтенсивності сонячної радіації, присутності в атмосфері піску, пилу, мікробіальна зараженість місцевості, наявність комах, гризунів, плазунів, можливість появи статичної електрики.

Електрообладнання може працювати на відкритому повітрі, в різного виду приміщеннях, в приміщеннях з підвищеною вологістю та ін.

Відповідними стандартами, в залежності від кліматичної дії, встановлено виконання електрообладнання:

- вироби для експлуатації на суші, річках, озерах:

“П” (“У”) – для районів з помірним кліматом; “ХЛ” – з холодним кліматом; “Т” – з тропічним кліматом (в тому числі “ТС” – тропічний сухий та “ТВ” – тропічний вологий); “З” (“О”) – загальнокліматичне виконання.

- вироби для встановлення на морських кораблях:

“М” – морський клімат; “ТМ” – тропічний морський; “ОМ” – для необмежених районів плавання; “В” – всі мікрокліматичні райони на суші і морі.

Крім того введені категорії виконання, які позначаються цифрами

1 – для роботи на відкритому повітрі;

2 – для роботи в приміщеннях з несуттєвою різницею температури від зовнішньої;

3 – для роботи в закритих приміщеннях без регулювання мікроклімату;

4 – для роботи в закритих приміщеннях з регульованим мікрокліматом;

5 – для роботи в приміщеннях з підвищеною вологістю (в тому числі в виробках шахт та рудників).

За захистом від зовнішнього середовища електрообладнання класифікується на: вибухозахищене, вологостійке, морозостійке, хімічностійке, тропічне.

За захистом персоналу від доторкання до струмоведучих частин обладнання, захистом від проникнення в електрообладнання сторонніх предметів, вологи та води у відповідності з рекомендаціями МЕК стандартами була введена міжнародна класифікація для електрообладнання напругою до 1000 В, за якою виконання оболонок електрообладнання позначається IP00.

<u>Перша цифра</u> характеризує захист персоналу та захист від попадання твердих предметів:

**0** – захист відсутній;

**1** – захист від попадання твердих тіл розміром більше 52,5 мм, захист від можливих доторкань великою поверхнею тіла до струмоведучих частин;

**2** – захист від твердих тіл розміром більше 12 мм, захист від доторкання пальців до струмоведучих частин;

**3** – захист від твердих тіл розміром більше 2,5 мм; захист від доторкання інструменту, проволоки чи інших подібних предметів з розміром більше 2,5 мм до струмоведучих частин;

**4** – захист від твердих тіл розміром більше 1,0 мм, захист від доторкання струмоведучих частин інструментом чи проволокою товщиною більше 1 мм;

**5** – захист від пилу; повний захист персоналу;

**6** – пилонепроникність, повний захист персоналу.

Друга цифра характеризує захист від води:

**0** – захист відсутній;

**1** – захист від крапель, конденсату води;

**2** – захист від крапель, що падають під нахилом до 15 градусів відносно вертикалі;

**3** – захист від дощу (що падає під кутом не більше $60^0$ до вертикалі);

**4** – захист від бризок (в будь-якому напрямку);

**5** – захист від струменів води;

**6** – захист від хвиль води (робота на палубі корабля);

**7** – захист при зануренні в воду (при тиску та протягом часу, відмічених технічними умовами);

**8** – захист при довгостроковому зануренні в воду (при тиску, що вказується технічними умовами).

Вибухонебезпечне електрообладнання у більшості має виконання не нижче IP54.

## 6.2. Рівні та види вибухозахисту, маркування вибухобезпечного електрообладнання

Під вибухозахищеним електрообладнанням розуміють таке, в якому використані спеціальні засоби, які виключають або зводять до мінімуму можливість вибуху навколишнього вибухонебезпечного середовища.

Існують дві основні групи засобів (ДСТУ EN 50014-2001, EN 50014:1992): засоби, що допускають можливість вибуху всередині електрообладнання, але виключають його розповсюдження в навколишнє середовище; засоби, що виключають вибух від електрообладнання за рахунок або ізоляції його струмоведучих частин, або ліквідації небезпечного іскріння чи нагріву частин електрообладнання, що можуть прийти в контакт з вибухонебезпечним середовищем.

Розділяють вибухозахищене електрообладнання для шахт та рудників, та електрообладнання для приміщень та зовнішніх установок. Воно класифікується за рівнями та видами вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання визначає ступінь вибухозахисту, а вид – сукупність конструктивних заходів, що виключають чи утруднюють можливість спалаху зовнішнього середовища і забезпечують необхідний рівень вибухозахисту.

В залежності від рівня вибухозахисту рудникове електрообладнання поділяється на:

- рудникове нормальне виконання, яке не має засобів вибухозахисту, виконане з урахуванням специфічних вимог до електрообладнання, що працює в умовах експлуатації в підземних виробках, має маркування РН;

- рудникове підвищеної надійності, що має заходи та засоби, які утруднюють появу небезпечних іскор, дуг, нагріву та забезпечують вибухозахист тільки в режимі нормальної роботи (маркування РП);

- рудникове вибухобезпечне: захист від вибуху оточуючого середовища при появі небезпечного іскріння, дугоутворення, нагріву, як при нормальних режимах роботи, так і при імовірних пошкодженнях, крім пошкоджень засобів вибухозахисту (маркування РВ);

- рудникове особливо вибухобезпечне електрообладнання – вибухобезпечне електрообладнання, в якому прийняті додаткові засоби вибухозахисту, що

забезпечують вибухобезпеку при будь-яких пошкодженнях, крім пошкоджень засобів вибухозахисту (маркування РО).

Перераховані рівні виконання за вибухозахистом забезпечуються відповідними видами вибухозахисту. Правила виготовлення вибухозахисного рудникового електрообладнання (ПВВРЕ) передбачають наступні види вибухозахисту:

1. Вибухонепроникна оболонка, позначається “В”.

В залежності від напруги і максимально можливого струму КЗ у місці встановлення електрообладнання, розрізняють оболонки типу:

“1В” – напруга не нормується, а струм КЗ до 100 А, або напруга до 100 В, а струм не нормується; “2В” – напруга більше 100 В до 220 В, струм КЗ від 100 А до 450 А; “3В” – напруга більше 220 В до 1140 В, струм КЗ більше 100 А; “4В” – напруга більше 1140 В, струм КЗ більше 100 А.

2. Підвищена надійність проти вибуху (захист виду “е”, в якому повністю виключене іскріння) – “П”;

3. Іскробезпека електричних кіл в нормальному і аварійному стані при двох пошкодженнях, якщо в іскробезпечному колі є відкриті, контакти, що іскрять за нормальної роботи, або при одному пошкодженні, якщо контактів, що іскрять за нормальної роботи, немає –“І” (Іа, Ів, Іс);

4. Кварцові заповнення оболонки – “К” (1К, 2К, 2КЕ);

5. Автоматичне захисне відключення – “А”;

6. Маслонаповнене обладнання – “М” (1М – Uн = 65 В, Ікз = 100 А; 2М – Uн = 127 В, Ікз = 450 А; 3М – Uн = 600 В, Ікз = 15000 А; 4М – Uн = 6000 В, Ікз = 10000 А);

7. Спеціальні види вибухозахисту (решта видів, які не належать до вищезазначених) – “С”.

Загальний рівень вибухозахисту електрообладнання, до складу якого входять елементи з різними рівнями захисту, встановлюється по нижньому рівню захисту елементів.

На електрообладнанні, виготовленому на експорт або імпортному з інших країн, маркування виконується у відповідності з рекомендаціями МЕК. Це маркування включає наступні позначення:

1. Знак рівня вибухозахисту електрообладнання:

“2” – підвищена надійність проти вибуху; “1” – вибухонебезпечне”; “0” – особливо вибухонебезпечне.

2. Знак “Ex” вказує на відповідність обладнання стандартам на вибухобезпечне обладнання.

3. Знак виду вибухозахисту:

d – вибухонепроникна оболонка; e – захист підвищеної надійності; o – масляне заповнення оболонки; q – заповнення кварцовим піском; p – продувка та заповнення з надлишком тиску; i – іскробезпечні кола; ia – особливо вибухозахищений рівень; ib – вибухозахищений рівень; ic – рівень підвищеної надійності; S – спеціальний вибухозахист.

4. Знак групи обладнання: I – рудникове; II – для внутрішньої та зовнішньої установки (для групи II вказується категорія суміші IIA, IIB, IIC та її група T1...T6).

Приклад маркування обладнання другої групи

2 Ex e d IIB T3

- 2 – загальний рівень захисту підвищеної надійності
- Ex – вибухозахищене обладнання
- e – частина елементів з видом підвищеної надійності
- d – частина елементів у вибухозахищеній оболонці
- IIB – для роботи з вибухозахищеними сумішами класу IIB (IIA)
- T3 – для роботи з групою сумішей T3 (і T1 та T2)

Для рудникового електрообладнання у вибухонепроникній оболонці позначення має наступний вид ExdI, а рудничне електрообладнання підвищеної надійності маркується ExeI. Прикладами маркування електрообладнання для

внутрішнього використання можуть бути: РП П 1В; РП П И; РВ 3В; РВ 3В Иа та ін.

## 6.3. Електрообладнання в рудниковому нормальному виконанні (РН)

Електрообладнання у виконанні рудникове нормальне використовується на шахтах, безпечних за газом, та допускається його використання в шахтах, небезпечних за газом і пилом, у стовбурах, пристовбурних виробках зі свіжим струменем повітря та камерах стаціонарних установок, що провітрюються свіжим струменем повітря за винятком, коли в цих та прилеглих виробках є суфляри або шахта є небезпечною за раптовими викидами.

Порівняно з електрообладнанням загальнопромислового застосування, електрообладнання у виконанні РН додатково повинно відповідати вимогам:

- оболонки повинні мати підвищену механічну міцність, вони повинні забезпечувати захист від механічних пошкоджень, від проникнення вологи та пилу в кількості, яка перешкоджає їх нормальній роботі;

- температура зовнішніх частин оболонок не повинна перевищувати при нормальному режимі – 200 $^0$С і короткочасно – 450 $^0$С (не більше 3-х хвилин);

- ізоляція повинна бути волого-, масло-, тепло-, дугостійкою, тобто розрахована на роботу при відносній вологості 97...100 % і при температурі до 35 $^0$С;

- обладнання повинно мати тільки кабельні вводи;

- обладнання повинно мати блокування, що не допускає відкриття кришок під напругою;

- допускається маслонаповнене обладнання напругою до 700 В;

- розривна потужність комутаційних апаратів знижується у 2 рази, порівняно з їх природною здатністю.

## 6.4. Електрообладнання в виконанні рудникове підвищеної надійності (захист виду "е")

Електрообладнання, в якому відсутні елементи, що іскрять, або нагріті до підвищених температур частини при нормальному режимові роботи, володіє в тій чи іншій мірі вибухобезпечними властивостями, тому що нормально не підпалює вибухобезпечну суміш (ДСТУ EN 60079-11:2017, EN 60079-11:2012). Воно допускається до експлуатації в місцях, де найбільш низька імовірність появи вибухобезпечної атмосфери. У такого електрообладнання доцільно підвищити надійність роботи всіх елементів, пошкодження яких може привести до появи іскор, дуг, небезпечних нагрівів до такого рівня, щоб це обладнання можна було поставити в один ряд з вибухобезпечним обладнанням.

У відповідності з рекомендаціями МЕК, захист виду "е" трактують як вибухозахист, який полягає в тому, що в електрообладнанні або в його частинах, які не мають небезпечних іскрінь при нормальному режимі роботи, прийнято ряд додаткових заходів, що утруднюють появу іскор, дуг, небезпечних нагрівів та ін. Прикладом такого обладнання можуть бути трансформатори, асинхронні двигуни, шинні коробки, електромагніти, статичні випрямлячі, світильники та ін.

Електрообладнання з захистом "е" не має спеціальних засобів, що перешкоджають проникненню всередину обладнання вибухобезпечного середовища або локалізують вибух всередині електрообладнання.

Виконання підвищеної надійності забезпечується, серед іншого, наступними заходами:

- використанням електроізоляційних матеріалів високої якості;
- забезпеченням підвищених відстаней витоку струму та електричних проміжків;
- зниженням теплового навантаження на ізоляцію.

## 6.5. Електрообладнання в вибухобезпечному виконанні

Як зазначалося вище, засоби захисту можна розділити на дві основні групи:

**1 група** – обладнання, в якому допускається можливість вибуху, але він локалізується всередині, не спричиняючи вибух зовнішнього середовища.

**2 група** – електрообладнання, в якому використовуються засоби, які забезпечують контроль середовища біля струмоведучих частин, тобто в якому вибухонебезпечне середовище не допускається до струмоведучих елементів.

Найбільш поширеним та традиційним видом вибухозахисту першої групи є розміщення обладнання в оболонці, яка виключає можливість передачі вибуху зовні. При цьому до самого електрообладнання не висуваються якісь особливі вимоги. Вимоги до вибухобезпечної оболонки викладені в ДСТУ EN 60079-1:2019 (в Європі діє стандарт EN 60079-1:2014).

Вибухонепроникна оболонка повинна мати наступні основні властивості:

1. Вибухостійкість – здатність з відповідним запасом надійності витримати тиск вибуху всередині без руйнування та небезпечних деформацій.

2. Вибухонепроникність – здатність не передавати в навколішнє середовище вибух через конструктивні щілини та отвори в місцях сполучення оболонки з імовірністю не більше допустимої: $10^{-8}$ в нормальному режимі (при іскровому розряді) і $10^{-4}$ в режимі дугового КЗ.

3. Зовнішні поверхні оболонки в любих режимах не повинні нагріватися до температур, небезпечних у відношенні підпалювання зовнішнього вибухо-небезпечного середовища.

4. Механічна міцність – здатність без порушення вибухозахисту витримати механічні дії при транспортуванні та експлуатації.

Тиск в оболонці після вибуху залежить від джерела підпалювання, початкового тиску, вільного об’єму оболонки, від її форми та ін.

Оболонка та її елементи кріплення повинні витримувати тиск вибуху, що з’являється при підпалюванні вибухонебезпечної суміші всередині її як за

допомогою малопотужних розрядів, так і в режимі дугового КЗ (для оболонок 2В, 3В, 4В), коли тиск додатково підвищується також за рахунок суміші, що з'являється всередині від розкладання ізоляційних матеріалів.

Дослідження показують, що зі зростанням потужності дуги та часу її горіння підвищується тиск в оболонці; збільшується кількість розплавленого матеріалу та кількість матеріалу, що випарувався; теплове навантаження на фланці; підвищується небезпека нагріву зовнішніх частин оболонок. Тобто обов'язковою умовою забезпечення вибухобезпеки електрообладнання є обмеження часу дії дуги, швидке відключення струмів КЗ максимальним захистом, що має коефіцієнт чутливості не менше 1,5.

Тиск в оболонці зменшується із зменшенням розмірів оболонки за рахунок збільшення питомої площі поверхні охолодження. При визначенні вільного об'єму оболонки приймається до уваги тільки фактичний об'єм всередині за вирахуванням об'єму вмонтованого електрообладнання.

Тиск при вибуху в оболонці збільшується в кратну кількість раз відносно початкового тиску. В результаті різної швидкості розповсюдження хвилі тиску і хвилі вибуху (з запізненням), за наявності в оболонці перегородок з вузькими щілинами, тиск в окремих відсіках оболонки може різко підвищитись. Тому окремі камери оболонки, що створюються при монтажі електрообладнання, рекомендується з'єднувати отворами не менше 750 мм$^2$, при цьому жодна зі сторін отвору не повинна бути меншою 4 мм.

Найбільш розповсюдженими формами оболонки є круглі (циліндричні і сферичні) та прямокутні.

Круглі оболонки мають більш високу механічну міцність та жорсткість конструкції, що дозволяє приймати стінки більш тонкими, чим стінки прямокутних. Вага останніх також більше круглих. Однак прямокутні оболонки характеризуються можливістю більш кращого заповнення.

Для оболонок вибирають такий матеріал, щоб він був достатньо міцним, щоб коефіцієнт вибухостійкості:

$$K_в = \frac{\sigma_{доп}}{\sigma_ф} = 2\,, \qquad (6.1)$$

де $\sigma_{доп}$, $\sigma_ф$ – відповідно, допустиме та фактичне напруження в матеріалі оболонки при вибуху.

В якості матеріалу оболонок електрообладнання переважно використовують сталь, для стаціонарного обладнання дозволяється використання сірого чавуну з міцністю не нижче марки СЧ-15-32. Алюміній та його сплави дозволяються для оболонок групи 1В. Для оболонок з вільним об'ємом до 2 літрів дозволяється використання пресматеріалу АГ- 4С.

Роль вибухонепроникності виконують спеціальні фланцеві з'єднання окремих частин оболонок, які виконуються у вигляді плоских, циліндричних, різьбових, ступінчастих, лабіринтних або комбінованих площин, здатних охолоджувати продукти вибуху до безпечної температури попереджуючи можливе спалахування навколишнього вибухонебезпечного середовища. Для різних видів фланців ПВВРЕ нормує їх параметри: ширину, довжину щілини, при яких досягається охолодження продуктів вибуху.

Ширина щілини складає 0,1...0,5 мм, довжина – 5...25 мм. Поверхні вибухонепроникних з'єднань повинні мати надійне антикорозійне покриття. В той самий час в щілинах, які не покриті фарбою чи лаком та в місцях втрати лакофарбового покриття збільшується ширина. Не допускається використання прокладок в вибухонепроникних з'єднаннях; при їх пошкодженнях або втратах збільшується ширина щілини.

Якщо вибухонепроникна оболонка повинна бути волого- або пилонепроникною, то можуть використовуватись еластичні прокладки із міцного вологостійкого, теплостійкого матеріалу, що повинні не втрачатися і закладатися в спеціальні пази.

Таким чином, вибухобезпечне електрообладнання не є герметичним і наявність щілин допустимої ширини зменшує тиск всередині оболонки під час вибуху та механічне напруження в матеріалі оболонки.

Вибухонепроникність кабельного вводу має надійність нижчу, ніж вибухонепроникність фланцевого захисту оболонок. Тому камера кабельних вводів виконується окремо від камери з нормально іскрячими елементами і з'єднується із основною апаратурною камерою через вибухонепроникні з'єднання. Допускається введення кабелю в основну камеру у випадку, коли в цій камері відсутні іскріння при нормальному режимі роботи.

Для вибухозахисту за допомогою вибухонепроникних оболонок характерним недоліком є погане провітрювання внутрішньої порожнини оболонки, в результаті чого погіршується охолодження електрообладнання розташованого в оболонці, знижується його потужність.

У випадках, коли необхідне ефективне провітрювання всередині оболонок та відповідне сполучення із зовнішнім ефективним середовищем, використовується пластинчатий (пакетний) вибухозахист. При цьому електрообладнання розташовують в оболонки з отворами, що закриваються пакетами із набору тонких металевих пластин товщиною 0,5...1 мм, проміжки між пластинами не більше 0,5 мм. При появі вибуху всередині оболонки, продукти вибуху охолоджуються пакетами цих пластин. Потрібен захист пакету від механічних пошкоджень та їх періодичне очищення від пилу, інакше порушуються їх захисні властивості.

Необхідність в інтенсивному провітрюванні оболонок та використанні пакетного вибухозахисту має місце при вибухозахисті акумуляторних батарей (де крім того може створитися вибухонебезпечна водневo-повітряна суміш), пускових опорів та опорів регулювання, для контактних електротермометрів та ін.

Крім пакетного, для захисту електрообладнання можуть використовуватись гасячі властивості дрібночарункової сітки. Принцип гасячої сітки знайомий здавна, досліджувався Х. Деві, що використав його в конструкції безпечної шахтарської лампи (за рахунок тепловідводу продуктів горіння сіткою з кількістю чарунок не менше 144 на 1 см$^2$ при товщині проволоки не менше 0,35 мм).

Полум’ягасячі здатності залежать від кількості чарунок на одиницю площі, від теплопровідності матеріалу сітки, термостійкості матеріалу.

Недоліки цього способу вибухозахисту: низька механічна міцність сіткового елементу; зниження газопроникних властивостей при запиленні; явище "післягоріння", що виникає в результаті підсмоктування свіжої суміші в оболонку (необхідно використовувати багатошарові сітки).

Захист із металевих сіток знаходить обмежене використання: гасячі елементи вогнеперешкоджувачів в дегазаційних системах, вентиляційних трубопроводах резервуарів горючих рідин і в технологічних комунікаціях по виробництву та транспортуванні паро- та газоповітряних сумішей.

Вибухозахист електрообладнання за рахунок контролю середовища навколо струмоведучих елементів (друга група) базується на тому принципі, що, незважаючи на наявність вибухонебезпечного середовища в атмосфері в місці розміщення електрообладнання, струмоведучі частини обладнання знаходяться в безпечному середовищі. Середовище утворюється діелектриками у вигляді газу, рідини, сипучих чи твердих наповнювачів.

Якщо чисте повітря, або інертний газ, знаходиться в обладнанні під надмірним тиском, то вибухонебезпечне навколишнє середовище не потрапляє всередину обладнання. Цей вид захисту має назву: "заповнення або продувка оболонки під надмірним тиском" (ДСТУ EN 50016-2001 та EN 50016:1995). Продувка надмірним тиском проводиться перед включенням під напругу. Необхідно передбачати заходи по забезпеченню відповідної системи вентиляції електрообладнання (повітропроводи, джерела подачі повітря, повітро-охолоджувачі та ін.), захист від витоку повітря, прилади контролю тиску, автоматичне вимкнення напруги при відповідному падінні тиску та ін. Тому цей вибухозахист знайшов використання для стаціонарного обладнання в приміщеннях промислових підприємств, в яких можлива поява вибухонебезпечних сумішей.

При використанні рідинних діелектриків струмоведучі частини електрообладнання розміщують в захисних оболонках, заповнених мінеральним мастилом чи негорючою рідиною (трансформаторне масло, синтетичні рідини ПМС-40, ПМС-400 та ін.). Для рудникового електрообладнання горючі мастила не допускаються. Цей вид захисту має назву: "масляне заповнення" (ДСТУ EN 50015-2001 та EN 50015:1994).

В залежносі від напруги і струму КЗ розглядають 4 підгрупи маслонаповненого електроообладнання:

1М – $U_н$ до 65 В, $I_{к.з}$ до 100 А;

2М – $U_н$ до 127 В, $I_{к.з}$ до 450 А;

3М – $U_н$ до 600 В, $I_{к.з}$ до 1500 А;

4М – $U_н$ до 6 кВ, $I_{к.з}$ до 10000 А.

Вибухозахисний шар мастила повинен забезпечувати вибухозахист як при іскровому, так і при дуговому замиканні.

Синтетичні мастила, такі як ПМС-40, ПМС-400, мають недоліки – токсичність продуктів розпаду та велику в’язкість.

При виконання модерінізації надають перевагу безоливному електрообладнанню, тому в наш час цей спосіб застосовується не часто.

Кварцове заповнення (сипучий діелектрик), як вид вибухозахисту, полягає в тому, що струмоведучі елементи електрообладнання, які вмонтовані в оболонку з кварцовим заповнювачем, знаходяться під захисним шаром заповнювача (ДСТУ EN 50017-2001 та EN 50017:1994). Хоч кварцовий пісок не є абсолютним діелектриком, він настільки надійно гасить полум’я, що з’явилось в його порах, що можна в цьому випадку не говорити про контакт джерела іскріння з зовнішнім середовищем.

Для задоволення вимог захисту, пісок повинен бути певного гранулометричного складу, чистим, очищеним від домішок, осушеним. Для зменшення вологопоглинаючої властивості піску, його обробляють (гідрофобізація) кремнійорганічною рідиною на основі уайт-спириту. Захист

забезпечується за рахунок певної товщини шару піску над струмоведучими елементами, який залежить від потужності КЗ. та часу його існування.

Для зменшення товщини захисного шару, використовують захисні металеві екрани, що перешкоджають розпушуванню піску під час дугового КЗ та змешють висоту зони оплавлення піску. Недоліком цього виду вибухозахисту є велика вага обладнання.

У випадку, коли обладнання не має рухомих елементів і не має необхідності в контролі струмоведучих частин для їх ізоляції від довкілля, можуть використовуватись герметичні оболонки або термореактивні компаунди. Вибухозахищеність залежить від товщини шару заливки, від фізико-хімічних властивостей компаунда, його стійкості до дії зовнішнього середовища. Потрібно враховувати, що під впливом температури змінюються розміри металевих деталей і компаундів. Тому можуть мати місце порушення цілісності компаунду і руйнування заливки, що обмежує область використання цього виду захисту.

Якщо електрообладнання призначене для експлуатації тільки в місцях, де вибухонебезпечне середовище з’являється на короткий проміжок часу, то можливо використати час, необхідний для проникнення зовнішнього небезпечного середовища всередину обладнання в якості захисного фактора. При обмеженні розмірів проміжків захисту, каналів, крізь які сполучається внутрішня порожнина електрообладнання із зовнішнім середовищем і відповідно обмежується “дихання” електрообладнання, нормальний склад повітря всередині виробу може зберігатись протягом часу, що перевищує час існування вибухонебезпечного навколишнього середовища.

Одним із способів вибухозахисту може бути полум’яне та безполум’яне (каталітичне) спалювання (окислення) горючих речовин по мірі надходження їх в оболонку (в якості каталізатора поширення набув хлористий паладій). Можливе використання також інгібіторів – спеціальних речовин, що уповільнюють або припиняють хімічну реакцію окислення.

Для систем шахтної автоматики, сигналізації і зв'язку широко використовують електрообладнання в виконанні РО. При цьому забезпечення рівня РО традиційною іскробезпекою електричних кіл не завжди може бути прийнятним через наявність в цих виробах іскронебезпечного джерела живлення. Перспективним є використання для цих виробів спеціальних видів вибухозахисту "С" для іскронебезпечних елементів:

- вміщення електричних частин в оболонку, вибухобезпека якої забезпечується як в нормальному режимі, так і при імовірних пошкодженнях за рахунок нерозбірності конструкції;

- герметизацію іскронебезпечних елементів епоксидними компаундами, що виключають контакт електричних частин з вибухонебезпечним середовищем та розміщенням цих елементів в вибухобезпечній оболонці, зовнішні приєднання виконуються іскробезпечними (РО-С-І).

## 6.6. Випереджувальне відключення

Небезпечними елементами в системі електропостачання, що є основними та найбільш схильними до пошкодження, є кабелі. Відсутність вибухозахисту кабелів є серйозним обмеженням використання електричної енергії на шахтах, небезпечних за раптовими викидами та суфлярними виділеннями. Тому на таких шахтах дотепер широко використовується малоекономний вид енергії – пневмоенергія.

Одним з перспективних напрямків у вирішенні питання безпечного використання кабелів та інших елементів електрообладнання зі слабкими оболонками (наприклад, лампи) є упереджуюче відключення.

Принцип дії системи з упереджуючим відключенням полягає в тому, щоб забезпечити зняття напруги з пошкодженого обладнання швидше, ніж відбудеться підпалювання вибухонебезпечного середовища, тобто забезпечити виконання умови $t_{\text{відк.}} \leq t_{\text{розвитку аварії}}$.

Великі труднощі в реалізації цього принципу з'являються при механічних пошкодженнях кабелю чи апарату, коли час розвитку аварії малий (1,5...2 мс). Система упереджуючого відключення повинна включати детектор, який виявляє початок процесу пошкодження оболонки кабелю, та швидкодіючий вимикач напруги.

Сучасні комутаційні засоби відключають мережу за 20...100 мс, що перевищує в десятки разів час розвитку аварії, вони не можуть забезпечити необхідну швидкодію. Крім цього необхідно прийняти до уваги, що після зняття напруги, двигуни на вибігу продовжують обертатись і генерувати ЕРС в мережу та підживлювати КЗ у місці пошкодження. Тому принцип упереджуючого відключення полягає в тому, що після виявлення початку пошкодження, одночасно з відключенням мережі автоматичним вимикачем проводиться закорочення лінії з пошкодженням з двох сторін від джерела живлення та кожного двигуна за допомогою короткозамикачів, тобто спочатку місце пошкодження ізолюється, а потім відключається від мережі. Крім цього повинні використовуватись кабелі спеціальної конструкції з додатковим загальним екраном, що дає можливість своєчасно виявити початок пошкодження.

Було розроблено два види швидкодіючих автоматичних вимикачів: з приводом пружинно-магнітної дії і з приводом, в якому використовується магніто-динамічний ефект, з відповідно власним часом спрацювання 3,5 та 2,5 мс та загальною швидкодією 3,5...4 мс, що є недостатнім для найбільш небезпечних механічних пошкоджень кабелів.

Підвищення швидкодії системи стало можливим завдяки використанню в якості закорочучої системи силових напівпровідникових приладів – вентилів та тиристорів (рис. 6.1). Крім підвищення швидкодії в цьому випадку виключаються також відскоки контактів під час замикання та порушення енергетичної ізоляції місця пошкодження. Напівпровідникові короткозамикачі включаються паралельно механічним. При цьому час спрацювання тиристорного короткозамикача складає 20...30 мкс, тобто вони спрацьовують практично

миттєво. Однак, для захисту цих короткозамикачів від перевантаження паралельно підключаються механічні короткозамикачі. Час енергетичної ізоляції місця пошкодження $t_{відкл.}$ в системі визначається часом спрацювання комутаційних апаратів $t_{апарат}$ та часом спрацювання захисного пристрою $t_{захисту}$:

$$t_{відкл.}=t_{апарат}+t_{захисту}. \quad (6.2)$$

Основна вимога до цих пристроїв – швидкодія та неможливість помилкових спрацювань.

Час роботи сучасних реле витоків на землю не задовольняє необхідній вимозі швидкодії. Реле витоків є інерційними і реагують на середнє значення струмів витоків. Потрібні засоби, які реагують миттєво в момент пошкодження.

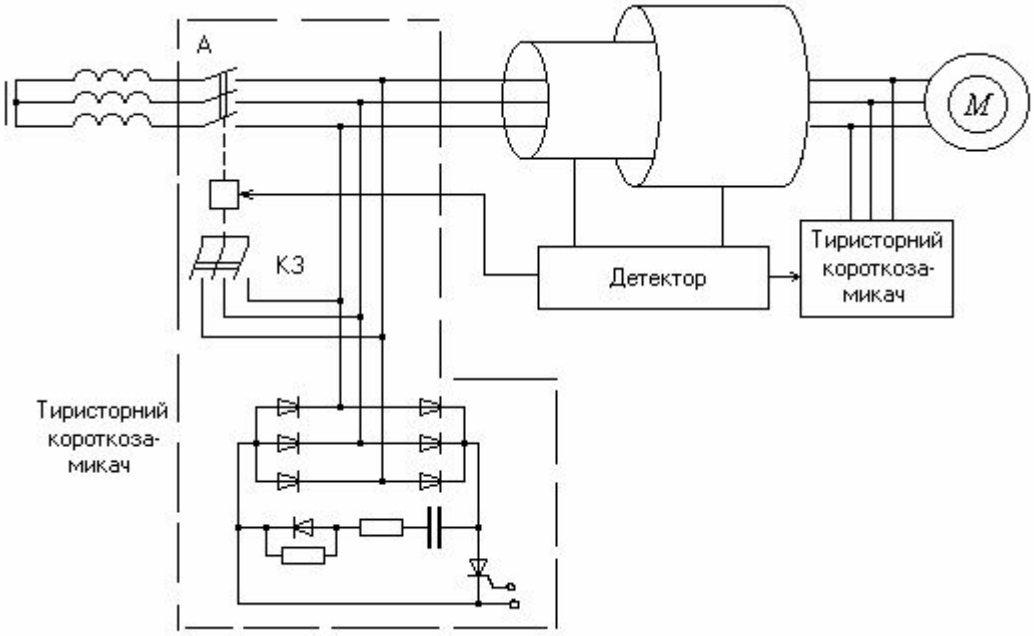



Рис. 6.1. Схема енергетичної ізоляції пошкодження кабеля від джерел ЕРС

Захисні засоби, що працюють на струмах нульової послідовності мають час спрацювання 1,2...2,2 с; в той час як час розвитку аварії може складати 1,5 мс. Крім цього доцільно використовувати додатково швидкодіючий максимальний захист, який реагує не на абсолютне значення струмів КЗ, а на швидкість наростання струмів КЗ. Швидкодіючий максимальний захист використовує в якості датчика три трансформатори струму. Для зниження впливу перехідного

процесу, для зняття залишкового намагнічування осердя, датчики струму мають спеціальний повітряний проміжок. Напруга, яка знімається з трансформаторів струму пропорційна швидкості наростання струму.

Принцип упереджуючого відключення було реалізовано в комплекті апаратури, розробленої інститутами УкрНДІВЕ, ІГС ім. Скочинського та дослідно-експериментальним заводом УкрНДІВЕ. До складу цього комплексу входять: розділяючий трансформатор ТСШВ-630/6-6, трансформаторна підстанція ТСВП-160/6КП або ТСВП-400/6КП, швидкодіючий автоматичний вимикач АБВ-250У5, швидкодіючі моторні короткозамикачі ПМК та ПМКВ, пускачі ПВИО-250У5 та спеціальний кабель КГВЕУШ (ГВШОП). Комплект призначений для використання у вугільних шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля та газу.

## 6.7. Іскробезпечне виконання електрообладнання

Іскробезпечною електричною системою називають комплекс електрообладнання або електротехнічних засобів, які складаються тільки з іскробезпечних кіл (ДСТУ EN 60079-11:2017 та EN 60079-11:2012). Електротехнічна система, в якій крім іскробезпечних кіл є також іскронебезпечні, називають комбінованою. Такі системи широко використовуються в рудниковій апаратурі.

Електричне коло вважається іскробезпечним, якщо в нормальному режимі роботи електрообладнання та в аварійному стані при штучно створених пошкодженнях елементів та з’єднань коефіцієнт іскробезпеки, тобто відношення мінімальних підпалюючих параметрів (струму, напруги, потужності або енергії), що викликають підпалювання вибухонебезпечної суміші з імовірністю $10^{-3}$, до відповідних іскробезпечних параметрів, які відповідають імовірності підпалювання $10^{-6}$, складає не менше 1,5. Раніше коефіцієнт іскробезпеки

приймався в межах 2-2,5, але з удосконаленням експериментальних установок для визначення іскробезпечного струму коефіцієнт був знижений до 1,5.

Іскробезпека електричних кіл досягається обмеженням енергії, яка виділяється електричним розрядом при розриві або замиканні кола. Величина енергії визначається параметрами комутаційного кола: струмів, напруги, індуктивності, ємності та ін.

Система може бути іскробезпечною за умови одночасного іскробезпечного джерела живлення та іскробезпечних кіл навантаження.

Іскробезпека кіл досягається:

- обмеженням потужності електричних кіл (не більше 20...60 Вт);

- зменшенням впливу реактивних елементів кола за допомогою іскрогасячих шунтів;

- збільшенням іскробезпечної потужності шляхом штучного обмеження тривалості розряду;

- зменшенням енергоспоживання іскробезпечних схем;

- зменшенням імовірності випадкового пошкодження елементів схеми.

В якості іскробезпечних використовуються кола телефонного зв'язку, радіозв'язку, кола дистанційного керування магнітними пускачами, блокувальні кола, кола системи сигналізації, контрольно-вимірювальні та ін. Іскробезпечні кола поділяють на три рівні:

$i_a$ – особливо вибухобезпечний;

$i_в$ – вибухобезпечний;

$i_c$ – підвищеної надійності.

Для $i_a$ характерна відсутність контактів, що іскрять за нормальної роботи, та кількість пошкоджень в аварійному режимі не більше двох, а коли іскріння має місце, то в аварійному режимі передбачаються всі можливі пошкодження.

Для $i_в$ можливе одне пошкодження за відсутності іскріння в нормальному режимі та 2 пошкодження за наявності в колах відкритих іскрінь в нормальному режимі.

Для рівня $i_c$ створюється одне пошкодження для кіл з наявними відкритими іскріннями при нормальному режимі, та жодного пошкодження при його відсутності.

Іскробезпечні кола повинні перевірятись і досліджуватись в спеціальних камерах, де утворюється вибухонебезпечне середовище оптимальної концентрації. При цьому, якщо в камері при створенні 16000 іскрінь струмами (напругами) підпалення схемою, що досліджується, мало місце не більше 16 вибухів ($P=10^{-3}$), тоді схема є іскробезпечною.

Іноді, коли струми (напруги) схеми не можна збільшити в два рази, агресивність вибухонебезпечного середовища в камері збільшується у 2 рази (підбирається воднево-повітряна суміш відповідної концентрації замість метано-повітряної).

Живлення іскробезпечних кіл може відбуватись як від автономних джерел (гальванічні елементи, акумулятори, індуктори), так і від спеціальних трансформаторів, приєднаних до силової мережі. Величина струму КЗ на виході джерела живлення залежить від внутрішнього опору джерела, тому джерела живлення іскробезпечних кіл повинні або мати високий внутрішній опір, або його підвищують за рахунок додаткових резисторів, включених послідовно. Джерела конструктивно виконуються таким чином, щоб виключити протікання струму в обхід резисторів.

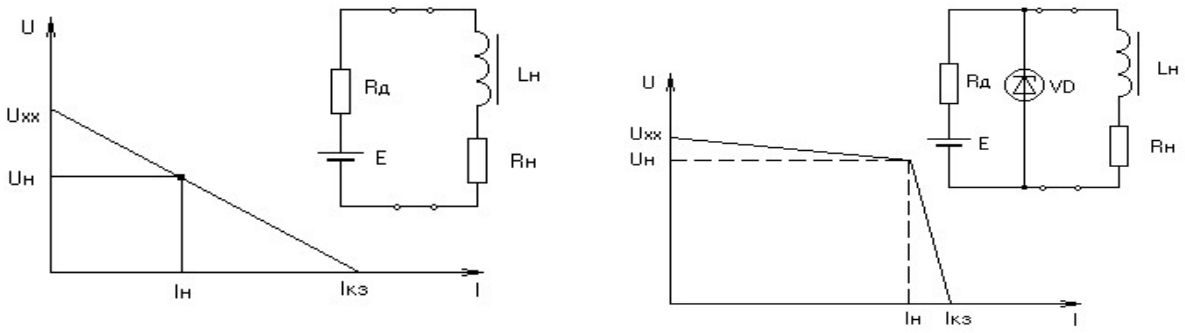
Джерела з обмеженою потужністю мають лінійну вольт-амперну характеристику (рис. 6.2, а). Максимальна потужність, яка передається в кола навантаження від джерела живлення, буде за умови $R_{джер.}=R_{навант.}$ При цьому: $U_{навант.}=\frac{1}{2}U_{х.х}$, а $I_{навант.}=I_{к.з.}$, тоді корисна потужність: $P_н=\left(U_{хх}/2\right)\cdot I_{к.з.}=P_{к.з.}/4$, тобто використовується мало.

Підвищення корисної іскробезпечної потужності досягається шляхом використання джерел з нелінійною вольт-амперною характеристикою. Остання досягається використанням нелінійних елементів (стабілітронів, транзисторів, діодів, тиристорів та ін.). В таких джерелах (рис. 6.2, б) напруга $U_{хх}$ та струм КЗ

$I_{к.з}$ обмежені до значень близьких до робочих значень напруги $U_н$ та струму $I_н$. При цьому коефіцієнт використання потужності в них близький до одиниці.

Як уже зазначалося, іскробезпека джерела живлення повинна забезпечуватись як в сталому режимі, так і при перехідних процесах, в тому числі при короткому замиканні. Суттєвим фактором забезпечення іскробезпеки є також наявність стабілізації напруги джерела.

Для підвищення робочої іскробезпечної потужності необхідно до мінімуму звести вплив реактивних елементів на іскробезпеку кіл, зокрема індуктивності. Так, зменшення впливу індуктивностей кола можливе при паралельному їх включенні, наприклад, підключення реле керування паралельно обмотці трансформатора живлення в схемах дистанційного керування шахтних пускачів.




а) б)

Рис. 6.2. Схеми та вольт-амперні характеристики джерел живлення іскробезпечних кіл: а) з лінійною вольт-амперною характеристикою; б) з нелінійною вольт-амперною характеристикою

Але найчастіше вплив реактивних елементів в іскробезпечних колах досягається за рахунок шунтування цих елементів за допомогою спеціальних пристроїв.

В місці розриву кола, на напругу живлення накладається ЕРС самоіндукції, що призводить до збільшення енергії розряду. Для зменшення впливу індуктивності можна використати резисторні шунти (рис. 6.3, а). При цьому напруга розряду:

$$U_р = E + I_н R_ш, \qquad (6.3)$$

де $I_н$ – струм навантаження.

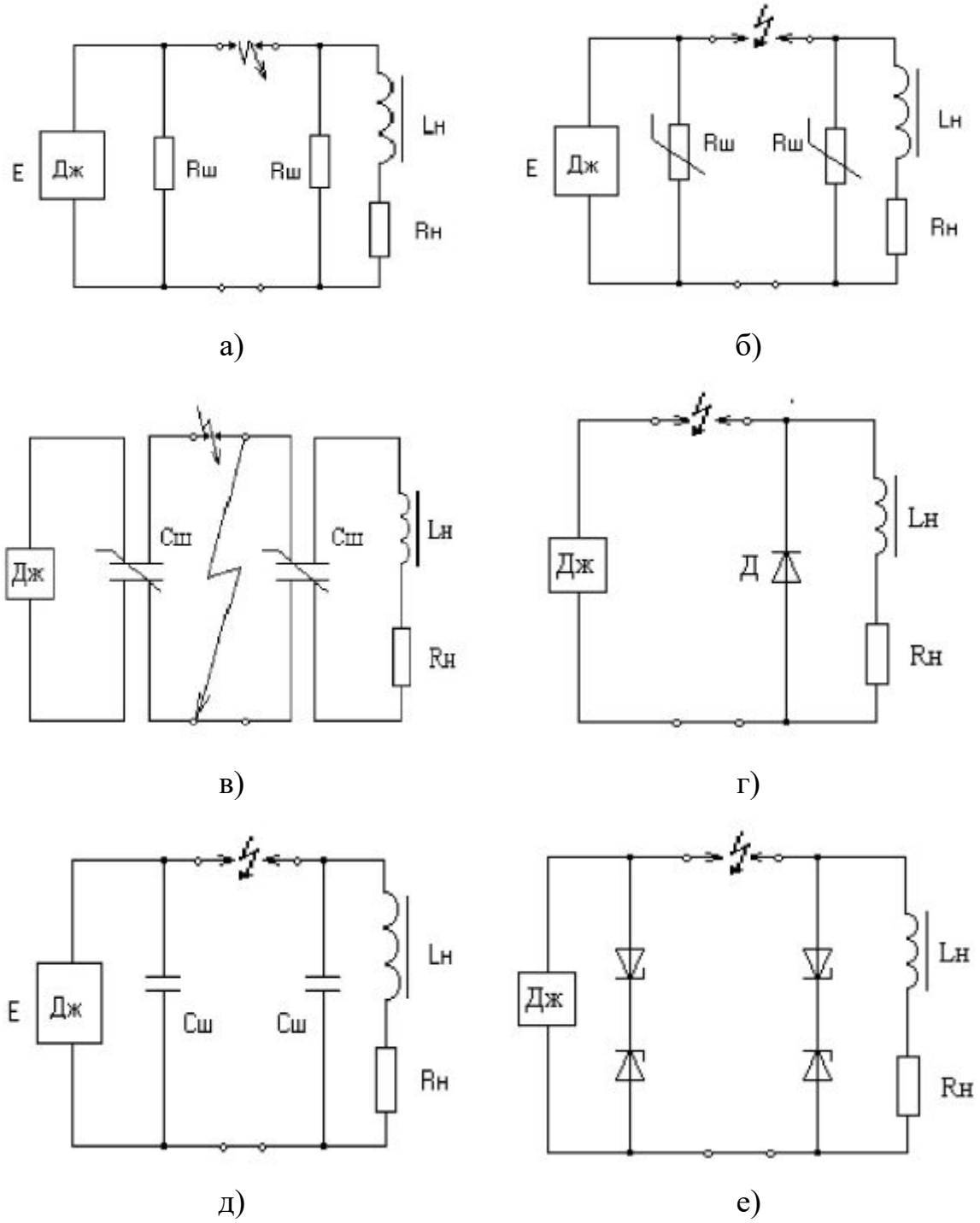



Рис. 6.3. Схема іскробезпечного кола: а) з резисторним шунтом; б) з варисторним шунтом; в) з варикондовим шунтом; г) з діодним шунтом; д) з ємнісним шунтом; е) з стабілітронними шунтами

Чим менше $R_ш$, тим менша перенапруга в місці розриву і тим менша небезпека в колах. Але резисторний шунт, з одного боку, знижує потужність розряду, а з іншого – підвищує потужність розряду через збільшення загального струму кола на величину струму, який проходить через шунт при нормальному режимі. Таким чином ефективність резисторного шунта низька. Підвищити її можна за рахунок використання нелінійних резисторів (варисторів) (рис. 6.3, б), опір яких залежить від прикладеної напруги (при збільшенні напруги в 2 рази – опір зменшується в 10 разів).

Більш ефективними є ємнісні шунти, які знижують перенапругу та швидкість її підвищення (рис. 6.3, д) (чим більша ємність, тим більша ефективність шунта). Але необхідно також приймати до уваги те, що при замиканні кола з ємністю небезпека збільшується. Таким чином:

$$U_р = E + I_н \cdot \sqrt{\frac{L_н}{C_ш}}, \qquad (6.4)$$

де $L_н$ – індуктивність навантаження кола, Гн; $C_ш$ – ємність шунта, Ф.

При збільшенні ємності кола збільшується потужність розряду і, відповідно, небезпека кола при замиканнях. Тому ємнісний шунт доцільно використовувати в схемах, в яких можливе лише однократне розмикання кола або передбачені заходи проти розряду зарядженої ємності на місце розриву (включення послідовно з ємністю резистора з активним опором).

Доцільно використовувати варикондові шунти (рис. 6.3, в), у яких крім менших габаритів при нормальній роботі ємність менша, ніж при розриві кола, коли вона значно підвищується з ростом напруги розряду. Ефективним є діодний шунт (рис. 6.3, г) для кіл постійного струму, який включається тільки на навантаженні. В колах змінного струму використовують стабілітронні шунти (рис. 6.3, е).

Іскробезпечні кола повинні відповідати вимогам:

- при проектуванні необхідно приймати до уваги ємність, індуктивність, опір з’єднувальних кабелів і проводів;

- необхідно враховувати максимально можливу перенапругу джерела живлення;

- з’єднання елементів іскробезпечного кола всередині електрообладнання потрібно виконувати способами, які забезпечують довговічність в умовах експлуатації. Кріплення повинні виключати можливість зменшення електричних проміжків або замикань між струмоведучими елементами;

- іскрозахисні елементи разом з елементами, що захищаються, та з’єднувальними проводами повинні представляти нерозбірну конструкцію (залиті твердим компаундом, розміщені в зварену, запаяну або заповнену оболонку, включені таким чином, щоб відключення іскрозахисних елементів викликало відключення елементів або кіл, що захищаються;

- зовнішні іскронебезпечні та іскробезпечні кола повинні прокладатися роздільними кабелями чи проводами (суміщення іскронебезпечних та іскробезпечних кіл в шахтному екранованому кабелі для електрообладнання прохідницьких та добувних комбайнів допускається за наявності контролю стану ізоляції).

## Контрольні запитання

*1. Наведіть характеристики виконання обладнання загальнопромислового використання.*

*2. Які існують рівні та види вибухозахисту електрообладнання та як вони маркуються?*

*3. Що таке «Випереджувальне відключення»? Яке його призначення, сфера застосування, реалізація?*

*4. Охарактеризуйте електрообладнання у іскробезпечному виконанні, рівні іскробезпеки та типи пристроїв в іскробезпечному колі.*

# ЛЕКЦІЯ 7. Захист електроустановок в аварійних режимах та режимах перевантаження

7.1. Експлуатаційні режими електроустановок та основні види їх захисту.

7.2. Захист від струмів короткого замикання.

7.2.1. Загальні особливості захисту від струмів короткого замикання.

7.2.2. Максимальний захист за допомогою плавких запобіжників.

7.2.3. Захист від струмів короткого замикання за допомогою максимальних реле.

7.3. Захист від перевантажень.

## 7.1. Експлуатаційні режими електроустановок та основні види їх захисту

Специфічні умови експлуатації електроустановок на гірничих підприємствах зумовлюють часте виникнення їх пошкоджень. Несвоєчасне усунення несправностей, що виникли; вплив вологої атмосфери, пилу на обладнання та кабелі приводять до появи струмів витоку на землю, які, при відповідних умовах, можуть переходити в струми КЗ.

Найбільш тяжкі експлуатаційні режими роботи характерні для електрообладнання вибійних машин та механізмів. Вони визначаються конструктивними особливостями машин, технологією робіт, гірничогеологічними та організаційно-технічними умовами, кваліфікацією обслуговуючого персоналу та ін.

Електродвигуни та апаратура керування вибійних машин працюють в переривчатому режимі з пульсуючим навантаженням, що неперервно змінюється, та відносно високою величиною частоти ввімкнення, нерідко зі значним перевантаженням через необхідність подолання більш твердих включень, заклинювання ріжучого органу та ін. Крім основної операції, ці двигуни

виконують допоміжні та маневрові операції по підготовці машин до роботи, перевірці та зміні ріжучого інструменту та ін., що вимагає частих вмикань та вимикань і викликає значний перегрів обмоток.

Тяжкими є також режими роботи двигунів конвеєрів, для яких характерними є часті перевантаження через заштибовку, що приводять до перекидання та зупинки двигуна; тяжкі умови пуску при заваленому ставі конвеєру, заклинюванні тягового ланцюга та ін. Запуск перевантаженого конвеєра виконується в "поштовховому" режимі двигуна на пускових струмах. Кількість включень за добу досягає 500.

Для електродвигунів бурових машин характерним є повторно-короткочасний режим роботи з пульсуючим навантаженням, частими перекиданнями і зупинками двигуна. Аналогічним є режим роботи маневрових лебідок.

Все це викликає появу небезпечного стану обладнання, причини якого необхідно знати для розробки заходів по його запобіганню.

Основними причинами появи небезпечного стану є:

- для комутаційної апаратури – помилки обслуговуючого персоналу та порушення ПТЕ (35…41 %), зношування та розрегулювання основних вузлів (25… 26 %);

- для гнучких кабелів – пошкодження оболонок породою та механізмами (83 %) та експлуатаційним персоналом (17 %);

- для вибійного електрообладнання – погіршення ізоляції обмоток статорів двигунів внаслідок дії води (37...45 %), пробої ізоляцію через перегрів двигуна (29,6 %), відмови елементів внаслідок неякісного ремонту (32 %), пошкодження вузлів вибухозахисту конвеєрних двигунів (14,8 %), міжвиткові короткі замикання та пробої ізоляції двигунів насосних станцій (64 %) та ін.

З метою зменшення імовірності появи небезпечного стану елементів електрообладнання та підвищення електробезпеки, необхідно дотримуватися

періодичності профілактичних оглядів та ремонтів, виконувати неперервний контроль стану електрообладнання за допомогою різних видів захисту.

Таким чином, основною задачею захисту є автоматичний неперервний контроль режиму роботи електричного устаткування та автоматичне відключення аварійної дільниці при зберіганні в роботі інших дільниць.

Розрізняють дві основні групи засобів захисту:

1. Захист персоналу і навколишнього середовища (види захисту розглянуті вище).

2. Захист електроустаткування.

Остання група має назву експлуатаційного захисту і виконується, як правило, разом з комутаційним обладнанням. В свою чергу ця група захисту також поділяється на дві:

1) захист від пошкодження – має задачу попередити розвиток пошкодження ізоляції, що вже виникло, щоб попередити дію струму короткого замикання на непошкоджені елементи кола, попередити спалахування електрообладнання під дією струмів, зменшити збитки від пошкодження та прискорити ремонт, зробити його більш дешевим. Можливими видами пошкодження є: замикання між фазами; замикання на землю; міжвиткові замикання; обрив чи підвищення опору в контактному колі.

У всіх випадках (крім останнього) з’являються більші чи менші значення струму, тобто всі види захисту при цьому базуються на зміні значення струму (максимальний захист, захисти на основі використання струмів симетричних складових – фільтрові захисти, захист від струмів витоку на землю).

2) захист від ненормальних режимів роботи – має задачі попередити пошкодження ще справних елементів електричних кіл через недопустимий нагрів ізоляції внаслідок підвищення струму при збільшенні навантаження, тривалості пуску, зниження напруги та ін.

Ненормальні режими – всі режими, при яких непошкоджені електроустановки починають споживати струм більше допустимого для даної

температури зовнішнього середовища. В момент виникнення ненормальні режими не є небезпечними. Але, якщо вчасно не вжити заходи, вони можуть перейти в аварійні (з пошкодженням елементів). Крім цього, ненормальні режими скорочують термін служби електроустаткування внаслідок інтенсивного старіння ізоляції.

До ненормальних режимів відносяться симетричні перевантаження двигунів; технологічні перевантаження пусковими струмами небезпечної тривалості під час пуску, який не відбувся або затягнувся; часті ввімкнення двигуна; неповнофазні режими роботи двигунів; понижена напруга та ін.

## 7.2. Захист від струмів короткого замикання

### *7.2.1. Загальні особливості захисту від струмів короткого замикання*

Основними причинами виникнення струмів короткого замикання в рудникових електроустановках є:

- пошкодження кабелів породою, яка обвалилася (29,2 %);
- висмикування кабелів із вводів електрообладнання в результаті механічної дії на кабелі при переміщенні вибійного обладнання (45,8 %);
- пошкодження міжфазової ізоляції (4,2 %);
- неправильний монтаж електрообладнання (8,3 %);
- інші пошкодження кабелю (12,5 %).

Короткі замикання є причиною 65 % пожеж і 35 % вибухів в шахтах.

Основні вимоги захисту від струмів короткого замикання:

1. Висока чутливість, кількісною мірою якої є коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.min}}}{I_{\text{с}}} \geq 1{,}5 \ \left(1{,}25\right), \tag{7.1}$$

де $I_{к.з.min}$ – мінімальне значення струму КЗ в зоні захисту, А; $I_с$ – струм спрацювання захисту, А.

Значення $К_ч$=1,25 допускається, якщо електрична мережа виконана броньованими або гнучкими екранованими кабелями, коли коротке замикання супроводжується витоком на землю і спрацюванням захисту від струмів витоку на землю. Коефіцієнт чутливості вибирається з умови забезпечення надійного спрацювання максимального захисту:

2. Висока швидкодія, для забезпечення пожежобезпеки кабелів при $К_ч$=1,5 час відключення не повинен перевищувати 0,2 с (для пускачів та високовольтних розподільчих пристроїв) і 0,1 с (для автоматичних вимикачів).

3. Зона дії максимального захисту – це граничний опір мережі, при якому ще забезпечується захист від струмів КЗ з необхідним коефіцієнтом чутливості. Зона дії захисту від струмів КЗ повинна перевищувати граничний опір мережі $Z_{мн}$, вибраного за умови нормальної експлуатації обладнання і складає:

$$Z_{мн} = (0{,}53...0{,}7)\ Z_{дв.п}, \tag{7.2}$$

де $Z_{дв.п}$ – опір фази електродвигуна в пусковому режимі, Ом.

Збільшення уставок спрацювання максимального захисту веде до скорочення зони його дії. При визначенні зони дії максимального струму захисту виходять з умови приєднання до трансформатора одного електродвигуна при відключенні інших. Тоді, при відлаштуванні захисту за номінальним пусковим струмом ($I_с$=$I_{нп}$), можна записати:

$$K_ч = I_к^2 / I_{нп} = 1{,}5\,. \tag{7.3}$$

Приймаючи до уваги, що:

$$\left(I_к\right)^2 = \frac{U_0}{2 \cdot \sqrt{\left(X_{тр} + X_к\right)^2 + \left(R_{тр} + R_к\right)^2}}, \tag{7.4}$$

$$I_{нп} = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot Z_{дв.п}}, \tag{7.5}$$

д: $U_0$=1,05·$U_н$; $Z_{мн}$ = 0.61·$Z_{дв.п}$; $X_{тр}$, $R_{тр}$ та $X_к$, $R_к$ – відповідно, індуктивний та активний опір трансформатора живлення та кабельної мережі.

Розв'язавши залежності (7.4) та (7.5), можна одержати розрахункову залежність для зони дії захисту при відлаштуванні за номінальним пусковим струмом.

Звідси видно, що при відлаштуванні захисту за номінальним пусковим струмом, граничний опір мережі $Z_{мн}$ може бути значно меншим граничного опору мережі за умови забезпечення нормальної експлуатації обладнання. При розрахунку граничного опору мережі $Z_{мф}$, при відлаштуванні максимального захисту за фактичним пусковим струмом, зона дії захисту визначається:

$$Z_{мф} = 0{,}92 \cdot Z_{дв.п}, \qquad (7.6)$$

тобто вона в 1,3...1,7 раз більша, ніж розрахована для умови забезпечення нормальної експлуатації електрообладнання.

Таким чином, захист повинен забезпечувати відлаштування від фактичного пускового струму двигуна.

4. Максимальний захист повинен бути селективним. Селективність максимального захисту забезпечується налаштуванням його або за часом спрацювання (рис. 7.1), або за величиною струму спрацювання. При узгодженні сусідніх захистів мережі за часом, необхідно мати максимальний захист з витримкою часу спрацювання, чого не дозволяють Правила безпеки. Тому цей шлях в підземних мережах не використовують.

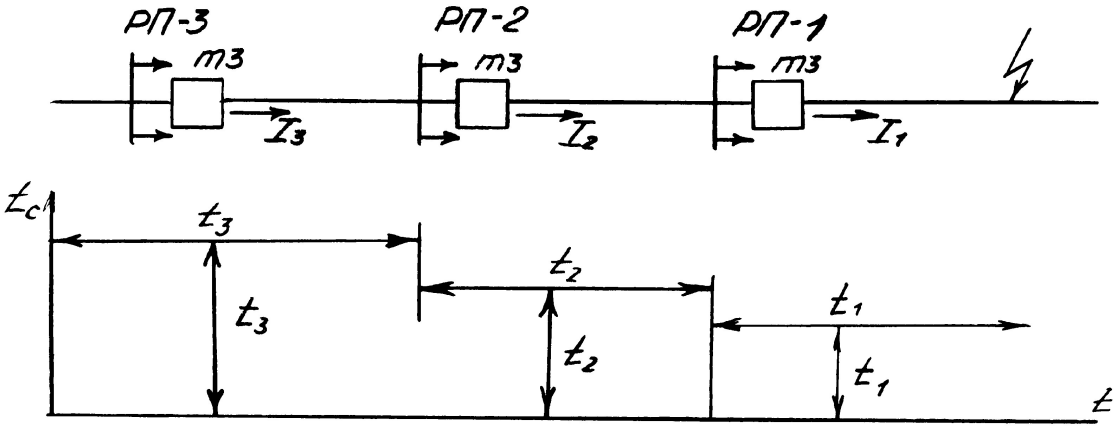



Рис. 7.1. Схема узгодження струму та часу спрацювання максимальних захистів на різних ступенях

Селективність роботи захисту різних ступенів досягається, якщо струм уставок спрацювання суміжних захистів відрізняється приблизно в 2 рази, тобто: $I_2=2\cdot I_1$; $I_3=2\cdot I_2$ і т. д. Це означає, що чутливість окремих ступенів захисту може бути значно знижена. Тому селективність максимального захисту з узгодженням за струмом спрацювання також не знайшла розповсюдження в мережах підземних виробок шахт. Це приводить до помилкових спрацювань захисту та простою великої кількості обладнання.

При вирішенні проблеми селективності захисту можуть використовуватись два шляхи: використання систем АПВ з попередньою перевіркою стану ізоляції та струмових реле з обмежено-залежною витримкою часу із відсічкою за струмом. Засоби АПВ (автоматичне повторне ввімкнення) з попередньою перевіркою опору ізоляції мережі, яка захищається, перед увімкненням передбачають наявність у комутаційних апаратів приводів дистанційного ввімкнення, що значно ускладнює апаратуру.

В електричних мережах можуть виникати як однофазні замикання на землю, так і міжфазні КЗ. На гірничих підприємствах основною є система електричної мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора. Система з заземленою нейтраллю приймається лише для живлення електроприймачів промислових майданчиків.

На відміну від системи з заземленою нейтраллю трансформатора, де кожне замикання на землю є коротким замиканням, в системі з ізольованою нейтраллю струми однофазного замикання на землю (струми витоку на землю) не досягають значних величин.

Основним видом пошкодження ліній є короткі замикання, причинами виникнення яких можуть бути перекриття або пробої ізоляторів в результаті прямих ударів блискавки або перенапруг, невірні дії експлуатаційного персоналу, перекриття ізоляторів при їх забрудненні, порушення ізоляції тваринами і птахами та інші.

На рис. 7.2 приведені розрахункова схема заміщення та векторні діаграми струмів міжфазних КЗ в мережі з ізольованою нейтраллю при відключеному навантаженні.

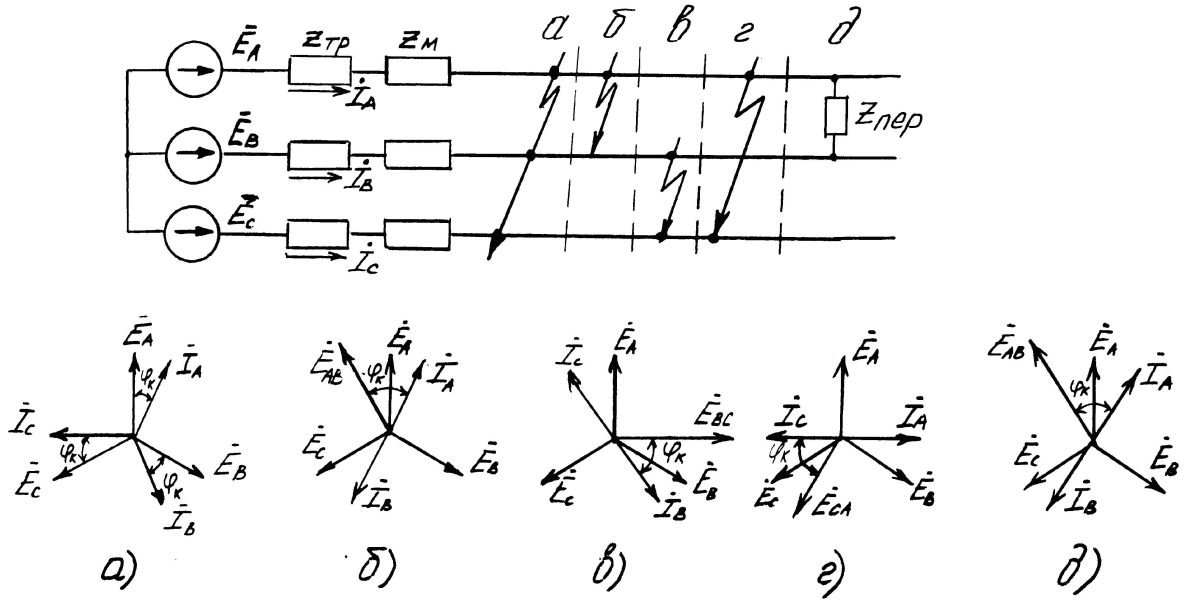



Рис. 7.2. Розрахункова схема заміщення та векторні діаграми струмів при різних видах міжфазних КЗ

В загальному випадку аварійні струми, що виникають при КЗ, залежать від параметрів генеруючих джерел, конфігурації електричної мережі та параметрів її елементів, виду КЗ та опору короткозамкнутого кола, фази ЕРС в момент виникнення КЗ, наявності чи відсутності приєднаного навантаження. Як видно з рис. 7.3, в електроустановках з ізольованою нейтраллю трансформатора достатньо мати максимальний захист в двофазовому виконанні.

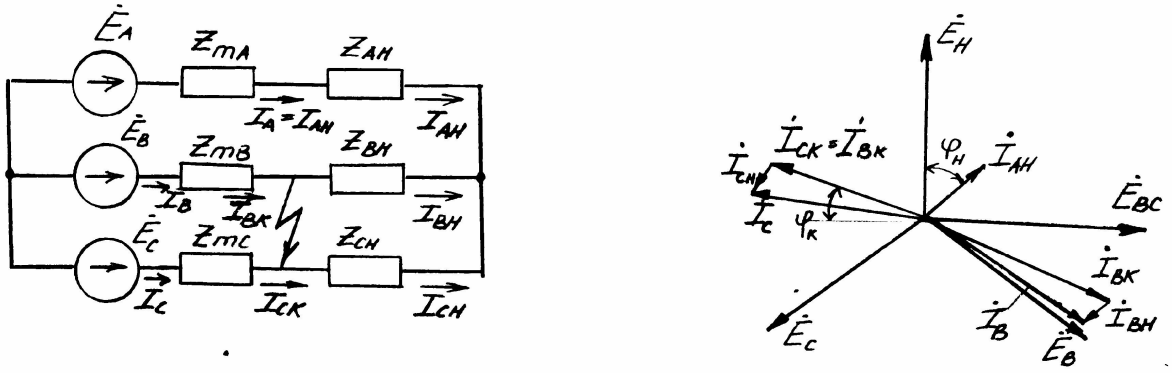


Рис. 7.3. Розрахункова схема заміщення та векторна діаграма струмів при двофазному КЗ в мережі з навантаженням

В рудникових електроустановках характерною особливістю є незначна потужність джерела живлення трансформатора і відносно значною може бути потужність споживача, тобто порівнянною з потужністю джерела. В цьому випадку має місце вплив на струм КЗ в фазах (в реле максимального захисту) струмів навантаження, які в пошкоджених фазах накладаються на струми КЗ в цих фазах.

Для струмів навантаження в фазах, при замиканні фаз В і С, можна записати:

$$I_{AH} = \frac{E_A}{Z_{MA} \cdot Z_{AH}}; \quad I_{BH} = I_{CH} = \frac{0{,}5 \cdot E_A}{Z_M \cdot Z_H}; \tag{7.7}$$

а струми КЗ в цих фазах:

$$I_{BK} = -I_{CK} = \frac{\sqrt{3} \cdot E}{2 \cdot Z_K} = \frac{E_B - E_C}{2 \cdot Z_K}, \tag{7.8}$$

де $Z_м$ – опір мережі; $Z_н$ – опір навантаження; $Z_к$ – опір короткозамкнутого кола.

Тоді струми фаз з боку мережі:

$$I_A = I_{AH}; \quad I_в = I_{вк} + I_{вн}; \quad I_с = I_{ск} + I_{сн}. \tag{7.9}$$

Тобто при несиметричних двохфазних КЗ струми в фазах не однакові і чутливість максимального захисту в різних фазах різна. Говорять, що захист має фазочутливий характер.

Ступінь та знак впливу навантаження на струм КЗ залежить від кутів повних опорів навантаження та мережі. При позитивній різниці, тобто при $\varphi_н > \varphi_к$, як видно із векторної діаграми, струм фази $I_в$, що випереджає, зменшується, а фази $I_с$, що відстає – збільшується. Тому в шахтних дільничних мережах, де вплив навантаження на струм КЗ значний, доцільно використовувати максимальний захист в трифазному виконанні.

На практиці захист від струмів короткого замикання виконується або за допомогою плавких запобіжників (рис. 7.4), або за допомогою електромагнітних реле миттєвої дії.

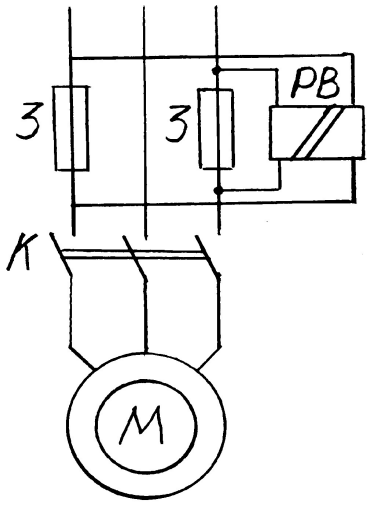



Рис.7.4. Схема максимального захисту плавким з запобіжником

### *7.2.2. Максимальний захист за допомогою плавких запобіжників*

Плавкі запобіжники широко використовуються в розподільчих щитах загальнопромислового виконання, в ручних пускачах та іншій рудниковій апаратурі.

Вони прості за своєю будовою, мають відносно високу комутаційну здатність, компактні, обмежують струм КЗ, мають відносно велику швидкодію при струмах КЗ близько $20 \cdot I_н$. Однак вони мають і багато недоліків.

Одним із недоліків максимального захисту за допомогою плавких запобіжників є можливість неповнофазних режимів роботи електродвигунів при розплавленні плавкої вставки. Цей недолік легко ліквідується за допомогою використання двообмоткового реле, підключеного паралельно запобіжникам, яке дає команду на відключення напруги при перегоранні плавкої вставки (реле РВ на рис. 7.4).

Крім того, однократність дії запобіжників вимагає зміни плавкої вставки після кожного спрацювання, а для цього потрібно відносно багато часу.

Теплові характеристики плавких вставок не відповідають характеристикам двигунів, що захищаються. Вибирають плавку вставку зі співвідношення:

$$I_{н.вст} = \frac{I_{п.н}}{1,6...2,5}. \qquad (7.10)$$

Тому при перенавантаженні в 240...250 % від номінального струму вставки, вона практично не перегорає. Лише при перенавантаженні в 375 % через вставку протікає струм в $1,5 \cdot I_{н.в}$ і вона перегорає протягом години.

Таким чином, захист двигунів від перевантаження за допомогою плавких вставок неможливий. Вони використовуються лише для захисту від струмів КЗ. Мають місце також труднощі регулювання плавких вставок в залежності від режиму роботи.

Неточність роботи запобіжників обумовлена тим, що характеристики спрацювання запобіжників ($t_{сп} = \varphi(I)$) мають значний розсів, крім того, з часом, при експлуатації, плавка вставка старіє і змінює свої характеристики.

Максимальний захист з плавкою вставкою має низьку чутливість. Якщо визначити, виходячи з умови вибору плавких вставок, опір лінії, при якому відбувається надійне спрацювання запобіжника $I_{кз\,min}/I_{нв} \geq 4...7$, або $I_{кз\,min}/I_{пн} \geq 2,5...4,25$, і визначити опір мережі для забезпечення пуску двигуна, то можна зробити висновок, що захист із запобіжниками має значну мертву зону.

Зона захисту значно менша, ніж необхідна для нормальної експлуатації:

$$Z_{с.в} = (0,21...0,3) \cdot Z_{с.н}, \qquad (7.11)$$

тобто мертва зона досягає 50...70 % довжини лінії.

Беручи до уваги вищезазначені недоліки, Правилами Безпеки рекомендують використовувати плавкі вставки в максимальному захисті споживачів з струмами плавких вставок до 160 А в мережах 380...660 В, та для захисту маловідповідальних та малопотужних споживачів в мережах напругою 127 В.

### *7.2.2. Захист від струмів короткого замикання за допомогою максимальних реле*

Перевагою максимальних реле перед запобіжниками є:

- миттєве і одночасне вимкнення струмів в трьох фазах;

- мінімальний час, потрібний для повторного ввімкнення електроустановки після її вимкнення внаслідок значного перевантаження або КЗ;

- легкість регулювання уставки спрацювання;

- реле має значно вищу швидкодію, ніж запобіжники.

В схемах захисту підземних електроустановок набули поширення як первинні, так і вторинні реле та розчеплювачі прямої та непрямої дії. В рудниковій апаратурі вітчизняного виробництва, як і в країнах Європи, набули поширення реле клапанного типу, в яких уставка спрацювання регулюється натягом пружини. Загальним конструктивним недоліком первинних реле є нестабільність їх характеристик спрацювання. Як показують дослідження, найбільший вплив на роботу максимального струмового захисту можуть чинити перехідні процеси при ввімкненні нерухомого електродвигуна та електродвигуна, що обертається при його реверсі.

Дослідження показують, що відлаштування первинних максимальних реле від струмів перехідного процесу, при пускових режимах електродвигуна, може бути реалізована, якщо уставка захисту вибрана за умовою:

- при запуску нерухомого двигуна:

$$I_c = (1{,}20...1{,}25)\cdot I_{п.ф}, \qquad (7.12)$$

де $I_{п.ф}$ – фактичний пусковий струм;

- при повторних включеннях електродвигуна, що обертається:

$$I_c = (1{,}6...1{,}7)\cdot I_{п.ф}. \qquad (7.13)$$

Розрахунки показують, що зона дії первинних максимальних реле при відлаштуванні від струмів перехідного процесу в режимі повторних включень:

$$Z_{мн.} = (0{,}47...0{,}54)\cdot Z_{дв.п}, \qquad (7.14)$$

тобто зона дії первинних максимальних реле менше граничного опору кабельної лінії за умовами експлуатації електрообладнання. Тому в сучасних захистах первинні реле не використовуються.

В пускачах серії ПВИ та в станціях керування СУВ був використаний максимальний універсальний захист УМЗ (рис. 7.5). Схема захисту складається з двох однакових кіл, кожне з яких містить трансформатор струму, шунтуючі резистори $R_ш$, $R_п$, регулюючий резистор $R_р$ випрямляючий міст UZ та виконавче реле постійного струму К. Струм вторинної обмотки трансформатора струму $I_2$, що визначається первинним струмом навантаження $I_1$, створює на шунтуючому опорі $R_l = R_ш \cdot R_п / (R_ш + R_п)$ напругу, що подається на випрямляючий міст, навантаженням якого є реле К. При подачі на обмотку реле напруги, струм в ній змінюється за експоненціальним законом. Параметри шунтуючих опорів та котушки реле вибрані так, що магнітний потік в магнітопроводі при перехідних процесах в мережі, обумовлених пусковими струмами електродвигуна, не досягає потоку зрушення, що дає можливість налагодження захисту за фактичним пусковим струмом.

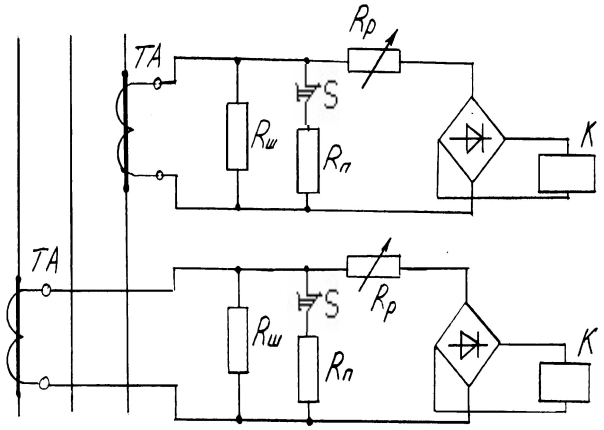



Рис. 7.5. Принципова схема максимального захисту УМЗ

Для перевірки дії захисту УМЗ використовується кнопка S. При цьому загальний опір, приєднаний паралельно трансформатору струму ТА, збільшується

і стає рівним $R_ш$ і, при запуску двигуна, захист УМЗ спрацьовує, тому що напруга на реле К підвищується.

Більш досконалим є блок максимального захисту ПМЗ, що використовується в сучасних рудникових апаратах (рис. 7.6).

Максимальний захист ПМЗ складається із встановлених в трьох фазах трансформаторів струму ТА та блоку захисту ПМЗ, в якому розміщені всі інші елементи схеми. До трансформаторів струму приєднані вимірювальна та виконавча частини схеми, тобто трансформатори струму є не тільки датчиками струму, а і джерелами живлення виконавчої схеми захисту. Остання складається з послідовно включених трифазного випрямляючого моста на діодах V1, V3, V5, діоду V18, обмотки незалежного розчеплювача QF автоматичного вимикача, тиристора V14 та діода V10. Паралельно QF приєднана одна із обмоток електромагнітного реле К з магнітною защіпкою. Вимірювальна частина схеми включає трифазний випрямляючий міст на діодах V7, V8, V9, дільник напруги на резисторах R4-R7 та напівпровідникове реле, вхід якого приєднаний до дільника напруги, а вихід – на керуючий електрод тиристора V14. Напівпровідникове реле складається із стабілітрона V11, діода V12, конденсатора C1, резисторів R8, R9, тиристора V13 та конденсатора C2.

Паралельно вимірювальній схемі (для забезпечення перевірки дії захисту) через вимикач SB приєднано трифазний випрямляч, з вентилями якого (V2, V4, V6) послідовно включені резистори R1, R2, R3.

При виникненні в мережі аварійного струму, що перевищує уставку спрацювання, напруга з резисторів R пропорційно струму подається на електроди силового тиристору V14, а напруги з паралельно з’єднаних резисторів R1 (R2, R3) – на дільник напруги. Коли напруга на плечі дільника з резисторами R6, R7 перевищує напругу стабілізації стабілітрона V11, подається сигнал на керуючий електрод тиристора V13, викликає його відпирання та подачу струму зміщення на керуючий електрод силового тиристора V14. Тиристор V14 відкривається, спрацьовує незалежний розчеплювач QF та поляризоване реле К, робоча обмотка

якого приєднана паралельно обмотці розчеплювача. Замикаючий контакт К2 вмикає сигналізацію, а розмикаючий контакт К1 розриває коло нульового розчеплювача автомата і блокує його ввімкнення.

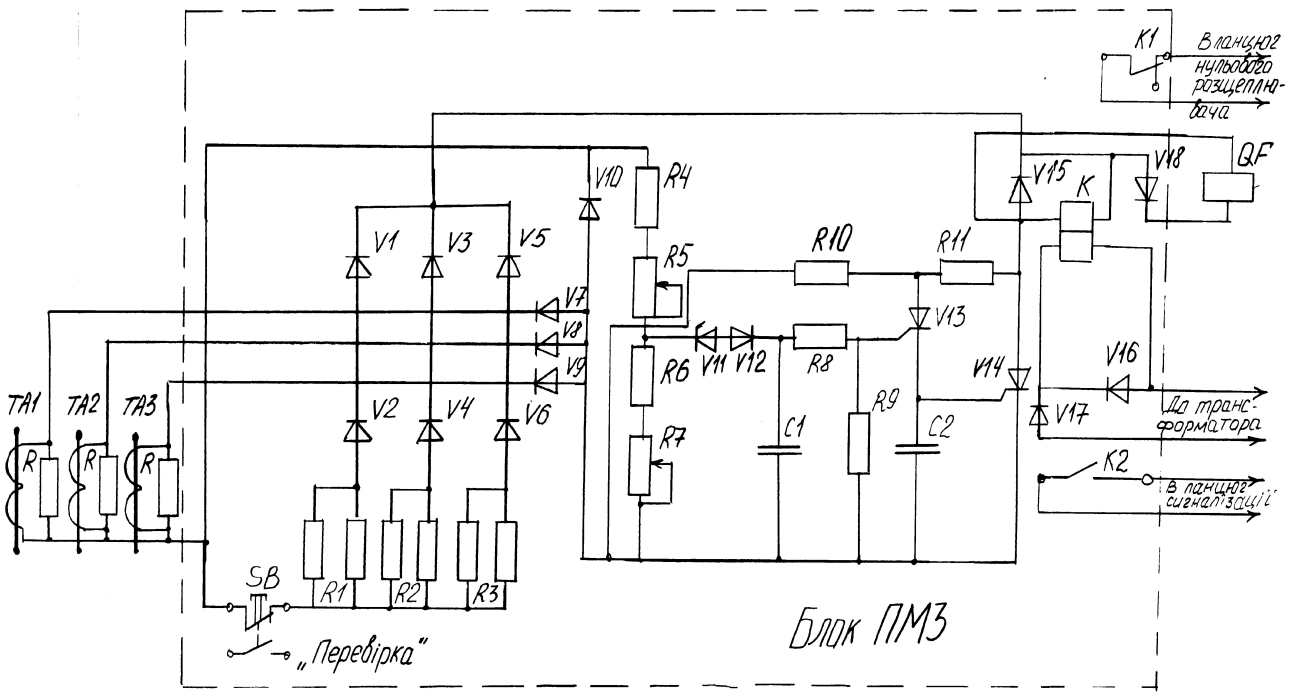
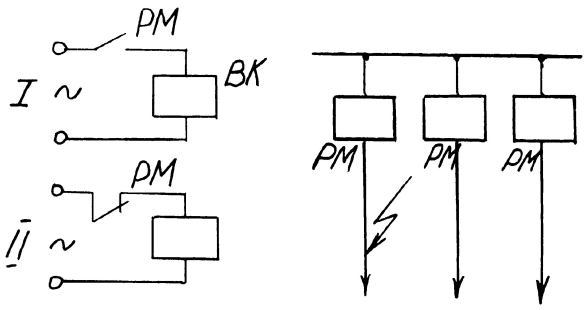



Рис. 7.6. Принципова схема максимального захисту ПМЗ

При використанні реле непрямої дії, в якості оперативного струму використовують випрямлячі струму або вимірювальні трансформатори струму чи напруги. При цьому можливі дві схеми дії захисту на виконавчий орган: на ввімкнення (рис. 7.7, а) або вимкенення (рис. 7.7, б) виконавчого органу.




а) б)

Рис. 7.7. Схема дії захисту на виконавчий орган: а) дія на ввімкнення;

б) дія на вимкнення

У першому випадку ВК (вимикаюча котушка) спрацьовує під дією максимального захисту. Але при цьому, в результаті зниження напруги на затискачах джерела живлення при короткому замиканні, можлива відмова в спрацюванні виконавчого органу. Частіше використовують другу схему, коли при спрацюванні захисту вимикається подача напруги на виконавчий орган, вимикач спрацьовує і вимикає місце короткого замикання. Надійність захисту за цією схемою вища. Але на сусідньому приєднанні, де немає короткого замикання може відбутись також хибне вимкнення вимикача внаслідок зниження напруги при короткому замиканні на сусідньому приєднанні.

Оскільки відмова захисту є більш небезпечна ніж хибне спрацювання, перевагу віддають роботі схеми з розривом кола виконавчого органу при спрацюванні максимального захисту. Якщо використовують першу схему, то необхідно передбачать резервне незалежне джерело живлення виконавчого органу.

## 7.3. Захист від перевантажень

В процесі експлуатації електроустановок виникають перевантаження електродвигунів та комутаційно-пускової апаратури з різних причин: технологічних; при пошкодженні машин і механізмів, що викликають підвищення моменту опору; при відхиленнях напруги на затискачах споживача від номінальної та інші. Перевантаження обладнання пов’язані з різким підвищенням струму, що споживається електродвигунами, та відповідним підвищенням температури струмоведучих частин та ізоляції. Це веде до зменшення строку служби ізоляції, який з достатньою для практики точністю визначається в залежності від температури нагріву виразом:

$$T_{\Theta} = T_0 e^{\frac{\ln 2}{\Delta\Theta_{обм}}\Theta_{обм}}, \qquad (7.15)$$

де $T_o$ –термін служби, що відповідає постійній номінальній температурі; $\Theta_{обм}$ – температура обмотки, $^0$C; $\Delta\Theta_{обм}$ – постійна величина прирощення температури, при якій термін служби ізоляції скорочується в 2 рази (8; 10; 12 $^0$C відповідно для класів ізоляції А, В, Н). Режим перевантаження електрообладнання пов'язаний зі зменшенням терміну служби ізоляції і не може бути тривалим. Щоб уникнути виходу з ладу обмоток електродвигунів (трансформаторів) після короткочасного перевантаження вони повинні бути відключеними. При вирішенні питань захисту електрообладнання від недопустимого перегріву, розрахунок нестаціонарних теплових процесів значно спрощують. При цьому приймають до уваги особливості режиму перевантаження та початкового теплового стану найбільш відповідальних вузлів електрообладнання.

В залежності від умов забезпечення захисту електродвигунів і характеру протікання в них теплових процесів перевантаження умовно ділять на: малі – (1,1...1,15) $I_н$; середні – (1,2...1,5) $I_н$ і великі – більше $1{,}5 \cdot I_н$. Крім цього розглядають аварійний режим роботи КЗ двигуна, коли по його обмоткам протікає пусковий струм (5...7) $I_н$.

Рівняння нагріву тіла з холодного стану має вид:

$$\Theta = \Theta_c\,(1 - e^{-t/T_н}), \qquad (7.16)$$

а з нагрітого стану:

$$\Theta = \Theta_c\,(1 - e^{-t/T_н}) + \Theta_o e^{-t/T_н}, \qquad (7.17)$$

де: $\Theta_c$ – кінцевий перегрів тіла при сталому тепловому стані; $\Theta_o$ – перевищення температури тіла над температурою зовнішнього середовища; $T_н$ – постійна часу нагріву; t – поточний час нагріву. Графічно рівняння нагріву наведені на рис. 7.8.

З достатньою точністю можна прийняти, що тепловий режим досягає сталого стану за проміжок часу $t=(3...4)T_н$.

В загальному випадку допустимий час перевантаження є пропорційним величині $T_н$. Якщо електродвигун до перевантаження довгий час працював з довільним навантаженням $P_o$ при якому його температура була $\Theta_o$, допустимий час перевантаження ($t_{пер}$) може бути визначеним із залежності:

$$t_{пер} = T_н \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{\Theta_{гдоп} - \Theta_0}{K_п^2 \cdot \Theta_{max.н}}}, \qquad (7.18)$$

де $\Theta_{гдоп}$ – гранично допустима температура для даного класу ізоляції; $K_п$ – кратність перевантаження за струмом; $\Theta_{max.н}=Q_н/C$ – максимальна температура при номінальному струмі двигуна в сталому режимі при $t = \infty$; $Q_н$ – кількість тепла, що виділяється в двигуні при номінальному струмі, C – теплоємність двигуна.

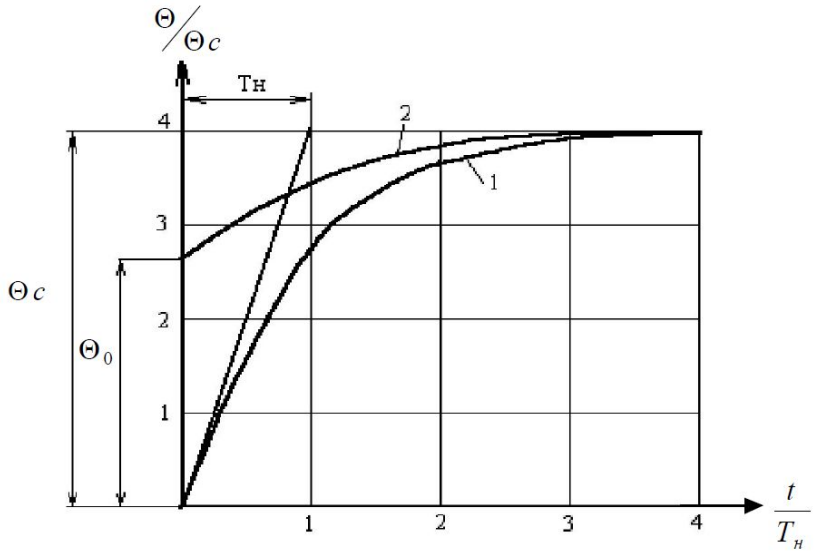



Рис. 7.8. Криві нагріву однорідного тіла: 1 – з холодного стану; 2 – з нагрітого стану

Якщо двигун працює в тривалому режимі роботи то задача захисту спрощується. Коли двигун починає споживати більший струм, захист повинен відключити двигун за час, при якому обмотки його нагріваються не вище (1,1...1,2) $Q_{гдоп}$. В промисловості для захисту від перевантаження значного поширення набули теплові реле, виконані на основі біметалевої пластини (рис. 7.9).

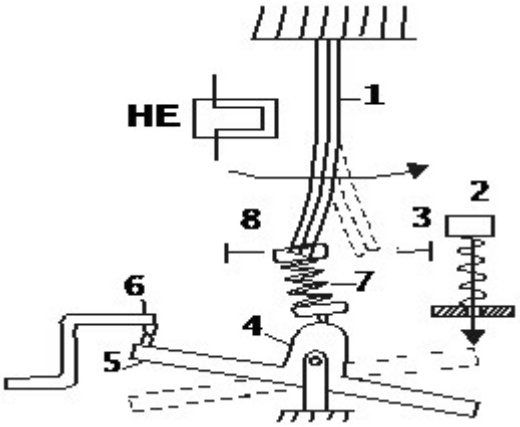



Рис. 7.9. Теплове реле: 1 – біметалева пластина; 2 – кнопка повернення; 3, 8 – упори; 4 – пластикова колодка; 5, 6 – рухомий та нерухомий контакти; 7 – пружина

Час, за який температура термоелемента з початкової $\Theta_{ор}$ до максимальної сталої $Q_{max.р}$, при якій спрацьовує реле:

$$t_с = T_{нр} \cdot \ln \frac{\Theta_{max\,р}}{\Theta_{max\,р} - \Theta_{ор}}, \qquad (7.19)$$

де $T_{нр}$ – постійна нагріву теплового реле, (2...5 хв. для реле прямого нагріву і 15...20 хв. для реле непрямого нагріву); $Q_{max.р.}$ – максимальна гранична температура теплового елемента (в межах 120...150 $^{o}$C).

Очевидно, що виконання вимог захисту двигуна від перевантаження досягається за умови, що постійні часу нагріву двигуна ($T_н$) та реле ($T_{нр}$) є практично однаковими. На практиці вони значно відрізняються (постійні нагріву електродвигунів знаходяться в межах 45...180 хв.). Тому захист, що опосередковано контролює нагрів, дає відносно хороші результати лише при роботі двигунів в тривалому режимі, тому що дозволяє практично точно стежити за тепловим станом двигуна. Але більшість електродвигунів підземних машин і механізмів працює в переривчастому режимі (короткочасному чи повторно-короткочасному). Для цих режимів тепловий захист від перевантаження працює зовсім незадовільно. Тому в сучасному рудниковому електрообладнанні тепловий захист не використовується. Для контролю за станом нагріву рудникових електродвигунів використовують температурні пристрої захисту, що вмонтовуються в обмотки двигунів (трансформаторів) і контролюють

безпосередньо температуру їх нагріву. Реагуючий орган захисного пристрою повинен мати мінімально можливі габарити, які дозволять монтаж його в найбільш нагріті точки обмотки, та мати миттєве спрацювання та самоповернення у вихідне положення.

В якості таких пристроїв набули поширення біметалеві датчики (пластини) та схеми з використанням напівпровідникових елементів – термісторів та позисторів. Найбільш простими пристроями є термобіметалеві датчики типу ТМ (рис. 7.10). Датчики включаються в коло дистанційного керування пускача.

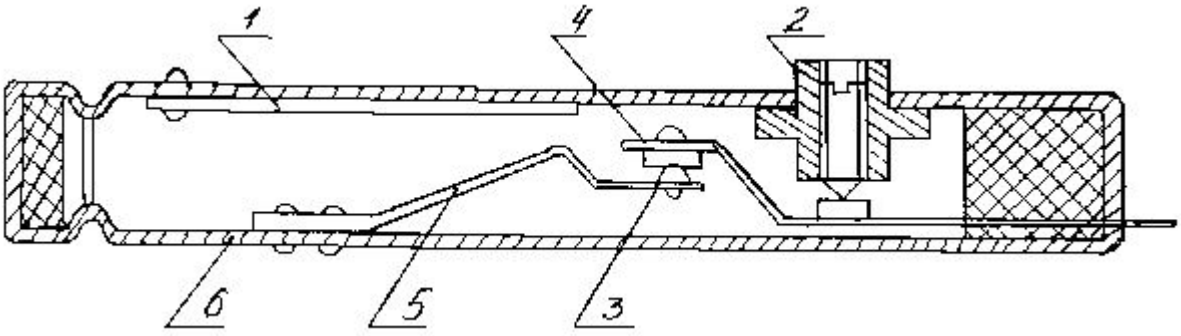



Рис. 7.10. Термобіметалевий датчик температури ТМ-4: 1 – термобіметалева пластина; 2 – гвинт регулювання; 3,4 – контакти; 5 – контактна пружина; 6 – корпус латунний

За допомогою таких пристроїв (постійна часу нагріву датчика складає 55 секунд) забезпечується захист двигунів, в яких, в режимі КЗ швидкість наростання температури в обмотці не перевищує 2 $^{o}$C/c.

В двигунах вибійних машин та в двигунах з високою швидкістю підвищення температури обмоток в режимі КЗ використання термодатчиків з малою постійною часу не забезпечує ефективний тепловий захист обмоток. В цьому випадку ефективний захист можна забезпечити диференційним методом контролю теплового стану обмоток. Для цього існують диференційні температурні реле ДТР, які реагують як на температуру, так і на швидкість її наростання (рис. 7.11). При довготривалому режимі роботи двигуна і поступовому зростанні температури пластинки 3 і 4 нагріваються практично однаково і мають однаковий хід. При досягненні температури уставки

спрацювання пластина 4 упирається в гвинт і при подальшому підвищенні температури пластина 3 вигинається більше і своїм штифтом розмикає контакт. При швидкому нарощуванні температури обмоток в аварійному режимі пластина 3, яка контактує з металевою кришкою, згинається швидше і своїм штифтом діє на пластину 5, розмикаючи контакт, тобто спрацює при значно меншій температурі обмоток, ніж при сталому режимі.

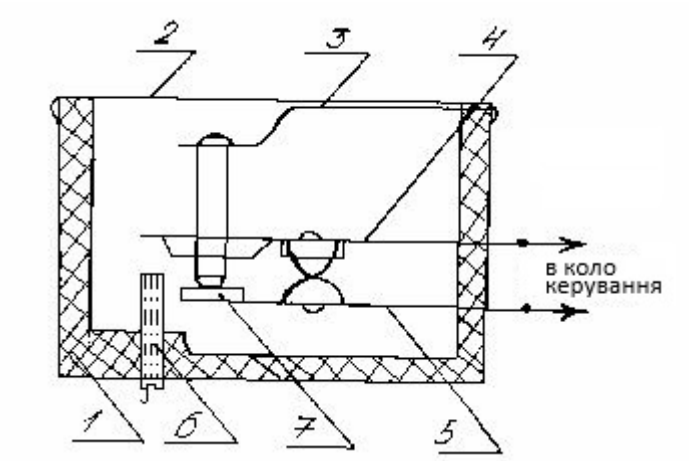



Рис. 7.11. Диференційне температурне реле ДТР: 1 – пластмасовий корпус; 2 – мідна теплопровідна кришка; 3, 4 – біметалеві пластини; 5 – контактна пластина; 6 –регулювальний гвинт; 7 – ізоляційна прокладка

Для забезпечення захисту при обриві однієї із фаз реле слід розташовувати не менше ніж в двох фазах, але за рекомендацією МЕК доцільно їх розташовувати в трьох фазах.

Захист від перегріву обмоток можливий також за допомогою температурно-струмових реле ТТР (рис. 7.12), в яких тепло, що викликає спрацювання реле, надходить від двох джерел: обмотки двигуна та нагрівального елемента, який розташований в корпусі реле поблизу біметалевого диску і живиться струмом, пропорційним струму двигуна, від трансформатору струму.

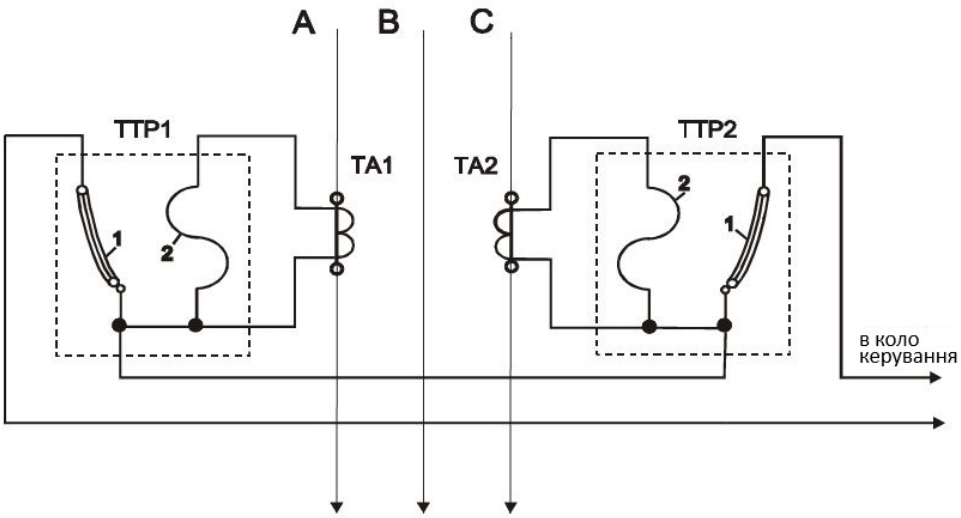



Рис. 7.12. Схема підключення температурно-струмового реле ТТР: 1 – біметалевий диск, 2 – нагрівальний елемент

Одним з недоліків такого захисту – необхідність вибору трансформатора струму в залежності від потужності електродвигуна. Більш сучасним є захист від перевантаження за допомогою напівпровідникових датчиків – позисторів чи термісторів. Їх характеристики наведені на рис. 7.13. Вони показують, що зі зростанням температури опір термісторів падає, а позисторів – зростає. В зоні нагріву обмоток електродвигунів (65...110 $^0$С) зміна опору у позисторів значно вища ніж у термісторів, тобто захист, виконаний на позисторах є більш чутливим.

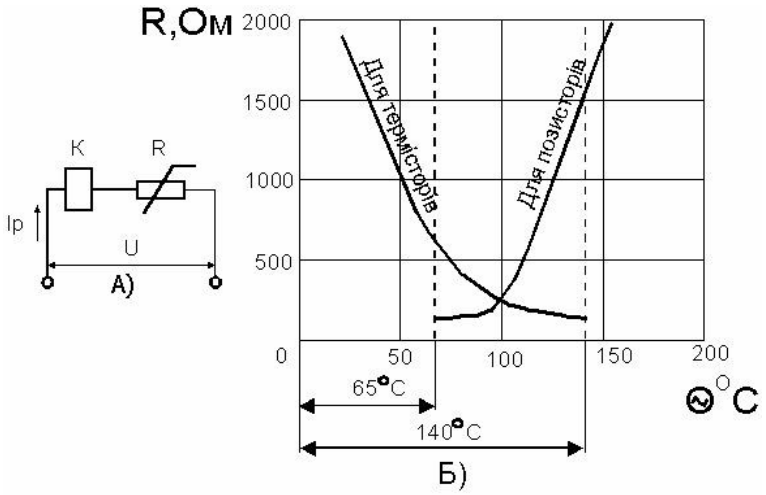



Рис. 7.13. Захист від перевантаження за допомогою напівпровідникових датчиків: а) схема приєднання; б) залежності опору терморезисторів від температури

Ефективним може бути аналоговий захист, що базується на моделюванні теплового стану за допомогою активно-ємнісного контуру і забезпечує захист в усіх режимах – перевантаження та аварійних. Постійна часу заряду контуру підбирається близькою до постійної часу нагріву двигуна в номінальному режимі та при перевантаженні. Недоліком даного захисту є те, що він не враховує умов експлуатації двигуна, його охолодження. Структурна схема аналогового захисту наведена на рис. 7.14.

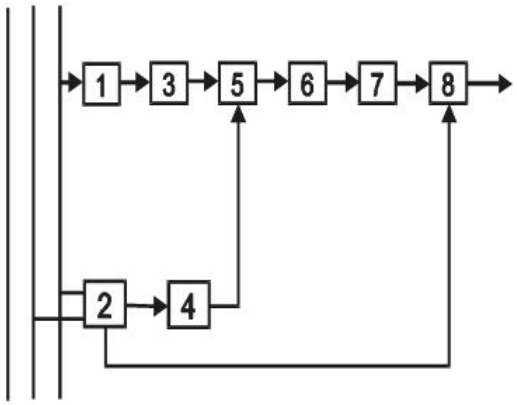



Рис. 7.14. Структурна схема аналогового захисту: 1 – датчик струму; 2 – датчик напруги; 3, 4 – відповідно квадратори струму та напруги; 5 – суматори сигналу; 6 – тепловий аналог; 7 – підсилювач; 8 – виконавчий орган

На практиці широке використання знайшов захист від несиметричних режимів роботи електродвигунів типу КОРД (рис. 7.15). Ним забезпечується також захист від несиметричних режимів при технологічних перевантаженнях, при запуску двигуна, який затягнувся або він не відбувся. КОРД випускається в трьох варіантах:

КОРД1 – для вимкнення двигуна при його перекиданні або незавершеному запуску;

КОРД2 – для контролю по струму за роботою двигуна і захисту його при перевантаженнях;

КОРД3 – для автоматичного вимкнення двигуна при його перекиданні та незавершеному запуску, а також для виконання однієї з функцій: контролю за струмом, за роботою двигуна при технологічних перевантаженнях або при обриві однієї із фаз.

Струм у двигуні вимірюється датчиком Е1 (рис. 7.15), який перетворює його у пропорційну напругу. Ця напруга вмикає ключову схему К1 і подається на перемикач уставок струму спрацювання S1, а потім на пороговий елемент ПЕ1. Якщо струм двигуна перевищує заданий рівень, то через стабілізуючий елемент СЕ1 сигнал потрапляє на часозадаючий елемент ЧЕ1. Якщо тривалість струму перевищує задане значення уставки часу спрацювання, то ЧЕ1 включить виконавчий елемент ВЕ, який відключить коло керування двигуна.

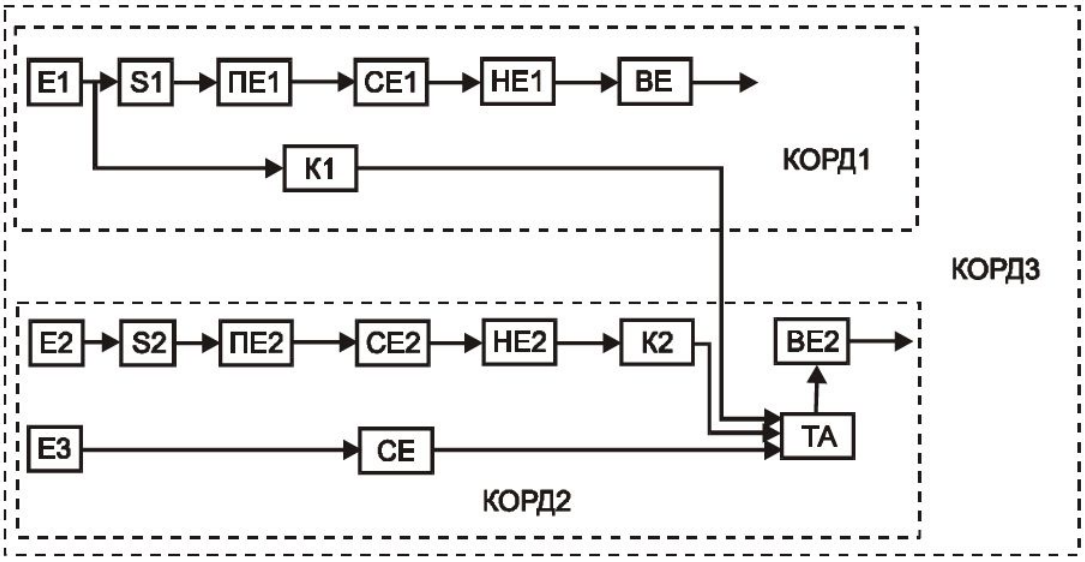



Рис. 7.15. Структурна схема захисту КОРД

Ключова схема К1 потрібна для контролю цілісності фази живлення двигуна і наявності струму в ній.

В схемі КОРД2 струм вимірюється датчиками Е2 і Е3, приєднаними до двох фаз. Від Е2 напруга потрапляє на перемикач S2 і далі як в КОРД1. На вході сигнал від ключової схеми К2 та сигнал від датчика струму Е3 подається на логічну схему ТА. При наявності на схемі ТА сигналів від К1, К2 та Е3 вмикається

виконавчий орган ВЕ2. Часозадаючий елемент ЧЕ2 має уставку спрацювання 0,3 с або 10 с. При обриві одної з фаз, зникає сигнал одного із датчиків струму (Е1, Е2, Е3) і виконавчий орган ВЕ2 вимикає електродвигун, який захищається.

## Контрольні запитання

*1. Охарактеризуйте захист від струмів КЗ за допомогою плавких запобіжників (переваги, недоліки, класифікація запобіжників за функціями та характеристиками захисту).*

*2. Охарактеризуйте захист від струмів КЗ за допомогою максимальних реле (УМЗ, ПМЗ, характеристики В, С, Д, МА).*

*3. Охарактеризуйте захист від перевантажень тепловими, температурними реле, терморезисторний та аналоговий захист.*

*4. За яких умов захист від перевантаження за допомогою теплових реле буде неефективним?*

*5. На якому принципі побудовано біметалеві датчики для захисту від перевантажень?*

*6. Як працює термобіметалеве реле в умовах швидкого наростання температури обмоток двигуна?*

*7. Який із захистів від перевантажень за допомогою напівпровідникових датчиків буде чутливішим в зоні робочих температур?*

*8. Від яких режимів роботи захищає захист КОРД та як він працює?*

# ЛЕКЦІЯ 8. Додаткові експлуатаційні захисти, що підвищують безпеку використання електроенергії

8.1. Мінімальний та нульовий захист.

8.2. Захист від втрати керування при замиканні в колах керування.

8.3. Захист, що обмежує кількість пусків.

8.4. Контроль неперервності кола заземлення. Захист від обриву заземлення.

8.5. Забезпечення іскробезпеки кіл дистанційного керування і кіл витоків на землю силової мережі.

8.6. Захист від іскроутворення в штепсельних пристроях.

## 8.1. Мінімальний та нульовий захист

При роботі електроустановок напруга в мережі може змінюватись, мають місце відхилення напруги на затискачах споживачів від номінальної.

При роботі асинхронного двигуна з фазним ротором, при відхиленні напруги до 60...70 % від номінальної, струм двигуна підвищується, викликаючи перегрів обмоток. Електродвигун повинен бути відключеним від мережі.

З точки зору безпеки праці, для електроустановок небезпечною є також раптова поява напруги на вимкненій машині. Для запобігання цьому використовується нульовий захист. Мінімальний захист вимикає електроустановки при зниженні напруги до 60...70 %, а нульовий – при її зникненні або зниженні до 15...40 % від номінальної.

Таким чином мінімальний та нульовий захист мають наступне призначення:

- захист двигунів від зверхструмів, які мають місце при відновленні напруги після відключення короткого замикання в мережі;

- захист двигунів від зверхструмів, які мають місце при їх запуску після перерви в живленні;

- захист електродвигунів та машин і механізмів від пошкоджень, можливих при запуску машин без пускових пристроїв.

- запобігання несподіваному для обслуговуючого персоналу самовільного ввімкнення машин після довготривалої перерви в живленні.

Мінімальний та нульовий захист також дає можливість покращити захист від струмів короткого замикання в груповому комутаційному апараті завдяки попередженню одночасного ввімкнення всіх електродвигунів, що живляться через цей апарат, і, тим самим, зменшується уставка спрацювання захисту від струмів КЗ та підвищується його чутливість. Захисти можуть спрацьовувати при коротких замиканнях; коли відбувається різке зниження напруги, тобто є також захистом від пошкоджень. Дія його хоч і не надійна, але якщо не враховувати її, то можуть відбутись пошкодження контактної системи відповідних комутаційних апаратів, які не розраховані на вимкнення великих струмів короткого замикання. Тому слід прийняти до уваги наслідки використання нульового чи мінімального захисту в апаратах, що мають недостатню вимикаючу здатність.

Використання нульового захисту полегшує також реалізацію інших видів захисту, оскільки, приєднуючи їх контакти в коло нульового захисту, можна просто вимкнути апарат при їх спрацюванні.

Нульовий захист полегшує використання максимального захисту, спеціальних видів захистів (наприклад контролю провітрювання, появи вибухонебезпечної атмосфери, перегріву підшипників та ін.), виконання необхідних блокувань, послідовного ввімкенення обладнання та ін.

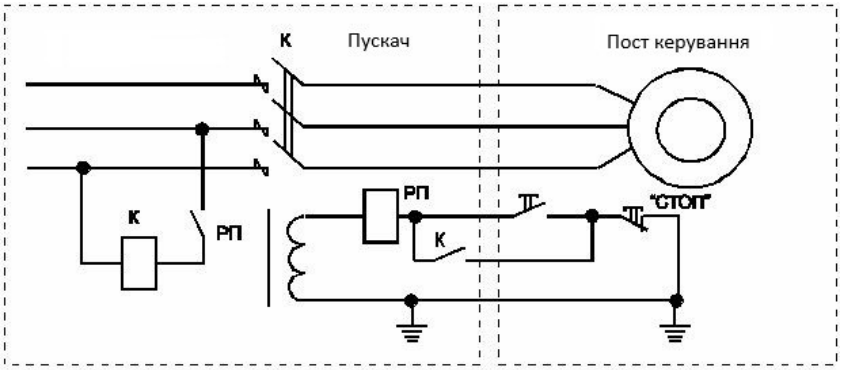
Мінімальний захист реалізується за допомогою електромагнітних реле безпосередньої або непрямої дії.

При подачі напруги одночасно подається напруга на електромагнітне реле мінімальної напруги чи мінімальний розчеплювач.

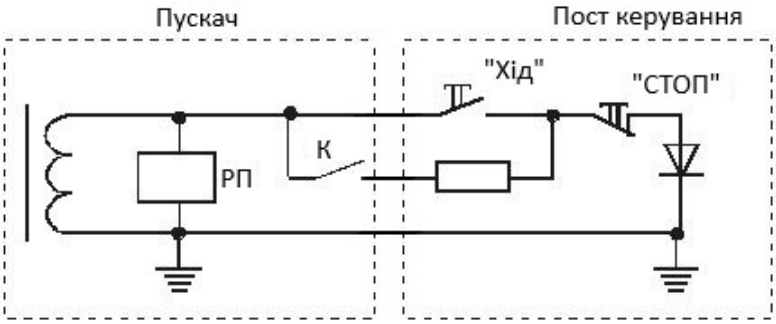
При зниженні напруги падає значення електромагнітної сили, яка стає менше сили протидіючих пружин, що призводить до вимкнення мінімального реле (розчеплювача) і, відповідно, вимкнення комутаційного апарату. Для

уникнення частих вимкнень відповідальних потужних споживачів (вентиляторів головного провітрювання та ін.) мінімальний захист виконується із витримкою часу на вимкнення в декілька секунд (до 10 с). В підземних електричних мережах на шахтних підстанціях та розподільчих пунктах (які працюють без обслуговуючого персоналу) коли КРП не мають дистанційного керування, мінімальний захист іноді знімається. Це зменшує кількість вимкнень великої кількості електроспоживачів та тривалих їх простоїв.

В низьковольтних мережах нульовий захист (в магнітних пускачах) виконується за допомогою контактора разом з додатковими засобами (блок-контакт, резистор нульового захисту, реле нульового захисту). Найбільш розповсюджена система з використанням блок-контактів контактора (рис. 8.1). Після зникнення напруги на пускачі контактор вимикається і розриває своїм блок-контактом К коло керування. Тому при повторній появі напруги контактор мимовільно не вмикається. Для його ввімкнення необхідно натиснути на кнопку “ХІД”. Недоліком цієї схеми є необхідність мати в колі керування три проводи. Перевага такої схеми – висока надійність роботи.




а)




б)

Рис. 8.1. Схеми нульового захисту: а) для класичної схеми керування; б) для схеми керування пускачів серії ПВИ

В схемах з резистором нульового захисту $R_{н.з.}$ включеним паралельно кнопці “Хід” (рис. 8.2) принцип нульового захисту реалізується на використанні різниці між струмом спрацювання та струмом утримання проміжного реле (котушки контактора) у ввімкненому стані. При зникненні напруги реле РП відпускає контакти. При появі напруги в мережі, котушка проміжного реле обтікається струмом по колу РП – $R_{н.з.}$ – кнопка “СТОП”, але цей струм є недостатнім для ввімкнення проміжного реле. Для ввімкнення проміжного реле і, відповідно, контактора необхідно натиснути кнопку “ХІД”. Переваги схеми: потрібно лише два проводи керування. Недоліки: необхідно вмонтовувати в пост керування додатковий резистор $R_{н.з.}$; низька надійність роботи при коливаннях напруги в мережі (при збільшенні напруги можливе самовільне ввімкнення реле РП). Успішне використання таких схем можливе при стабілізації напруги живлення кола керування.

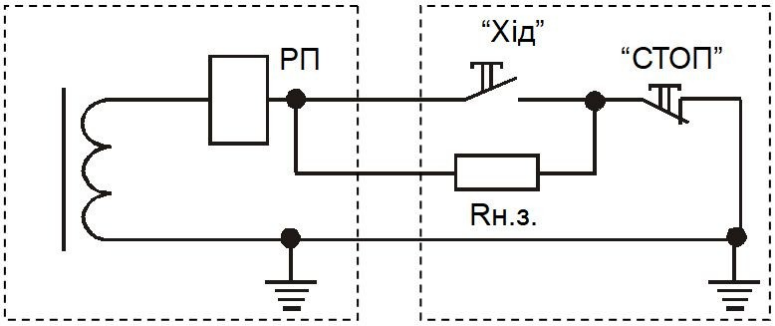



Рис. 8.2. Схема нульового захисту з резистором нульового захисту

В схемах керування вибійними комплексами набув поширення нульовий захист з спеціальним реле нульового захисту РНЗ, вмонтованим в пост керування (рис. 8.3).

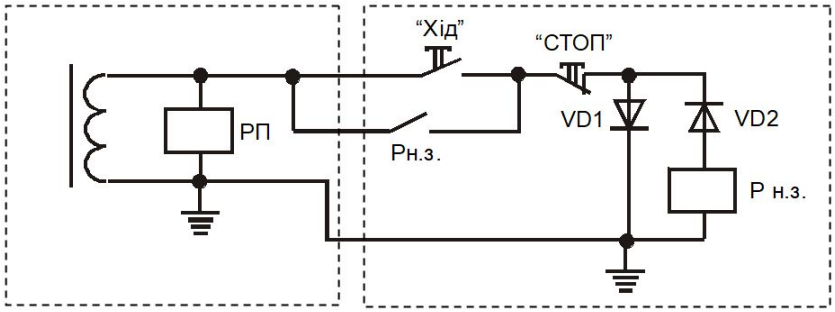
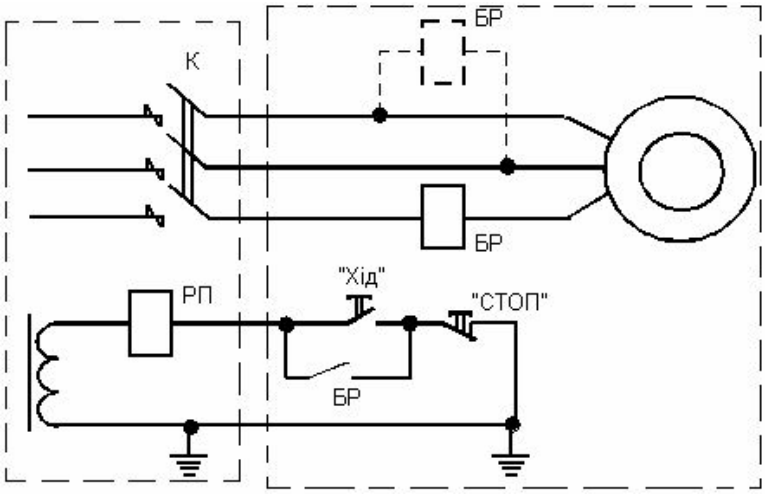


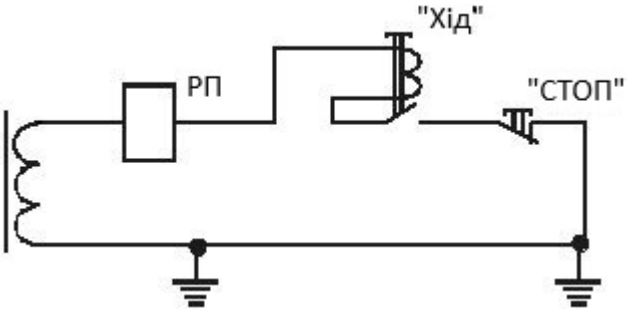

Рис. 8.3. Схема нульового захисту з реле нульового захисту

Для реалізації мінімального захисту можуть використовуватись також блок-реле (рис. 8.4, а) в силовому колі (реле струму або реле напруги). Недоліком таких схем є нестійка робота схеми внаслідок вібрації машини.

Як можливий варіант виконання нульового захисту, є використання соленоїдної кнопки “ХІД” (рис. 8.4, б). Недоліком такої схеми є ускладнення кнопкового поста та нестійка робота при коливанні напруги мережі.




а)




б)

Рис. 8.4. Схеми нульового захисту за допомогою блок-реле (а) та соленоїдної кнопки (б)

## 8.2. Захист від втрати керування при замиканні в колах керування

В звичайних схемах дистанційного керування, що використовувались в старих серіях рудникових пускачів та в загальнопромислових пускачах,

замикання в колах керування призводить до шунтування органів керування (рис. 8.5).

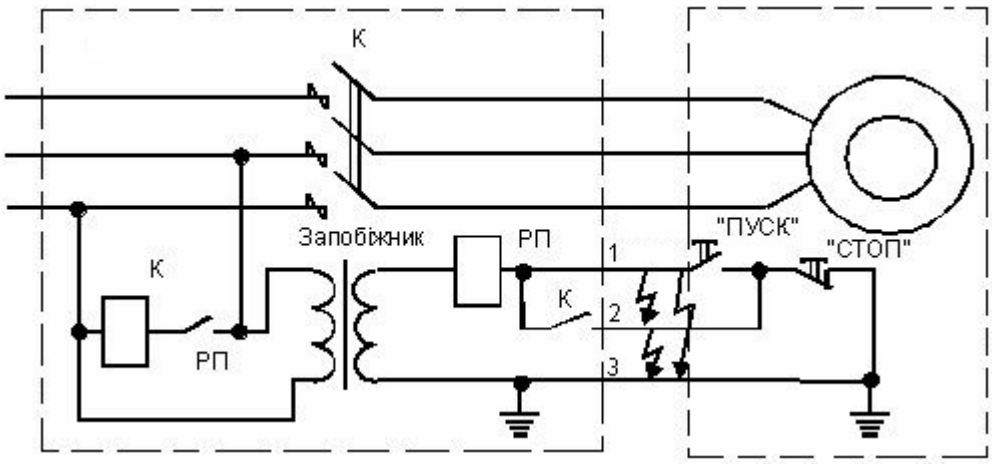



Рис. 8.5. Схема дистанційного керування без захисту від втрати керування

Так, при замиканні ліній 1-2 має місце самовільне ввімкнення двигуна. Якщо це сталось під час роботи, то двигун можна вимкнути за допомогою кнопки “СТОП” (з фіксацією). При замиканні ліній 1-3 має місце повна втрата керування – двигун вмикається і його буде неможливо вимкнути кнопкою "СТОП". При замиканні 2-3, самовільне ввімкнення не буде, але після ввімкнення машину не можна вимкнути. Для запобігання аварій, що можуть мати місце при замиканнях в колах керування, необхідно в цих випадках вимикати пускач автоматично. Таким чином, класична схема дистанційного керування не має захисту від втрати керування. Для забезпечення захисту в таких схемах можливе використання наступних заходів:

а) встановлення плавкого запобіжника в коло керування (рис. 8.6);

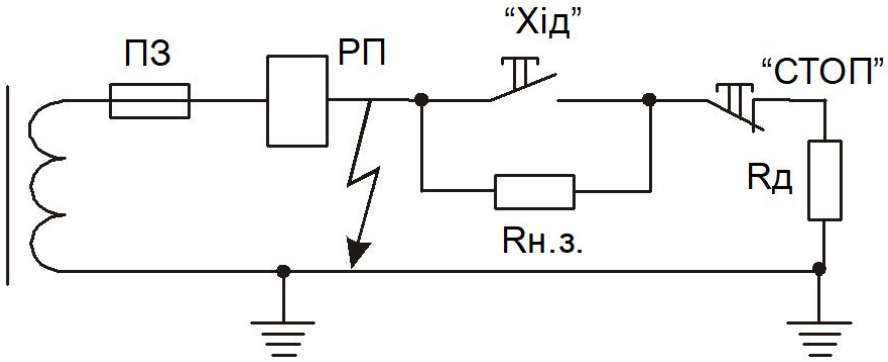



Рис. 8.6. Схема захисту від втрати керування з плавким запобіжником

При замиканні в колі керування спрацьовує плавкий запобіжник. В коло керування, окрім резистора нульового захисту, приєднується додатковий резистор, що запобігає перегоранню плавкої вставки при запуску двигуна, коли $R_{н.з.}$ шунтується кнопкою “Хід”. При надзвичайній простоті схема допускає помилки в роботі внаслідок коливань напруги, неповних замикань в колі керування, а також внаслідок розсіву характеристик плавкої вставки.

б) використання блок-реле в колі керування (рис. 8.7);

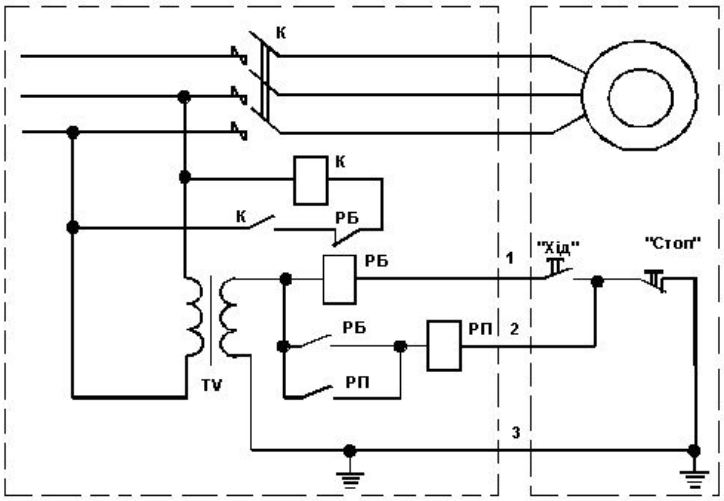



Рис. 8.7. Схема захисту від втрати керування з блок-реле

Блок-реле нормально не обтікається струмом, а вмикається лише при замиканнях в колах керування, розриваючи коло живлення котушки контактора. Ввімкнення контактора має місце після відпускання кнопки “Хід”. При замиканні ліній 1-2 та 1-3 спрацьовує РБ і вимикає контактор. При замиканні 2-3 шунтується кнопка “СТОП”, пускач можна ввімкнути за допомогою кнопки “Хід”, але неможливо вимкнути. Недоліки схеми – необхідність в додатковому реле, можливість повторних замикань при несталих замиканнях в колі керування, незручність увімкнення пускача.

в) використання реле напряму струму (рис. 8.8).

Реле захисту спрацьовує при замиканні в колі керування і шунтуванні діода V2.

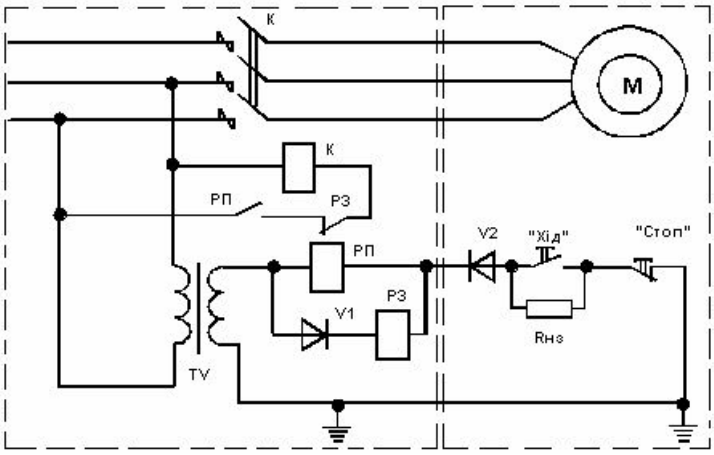



Рис. 8.8. Схема захисту від втрати керування з реле напряму струму

В рудникових пускачах використовують паралельне підключення проміжного реле, що працює на постійному випрямленому струмі, тобто в якості РП використовують реле роду струму (рис. 8.9).

При одній полярності струму і натисканні кнопки “Хід” реле РП шунтується діодом VD. При іншій полярності струму, струм протікає через реле РП, яке включається, замикає коло живлення контактора, останній вмикається. При замиканні ліній 1-2 самовільного ввімкнення не буде, тому що в коло керування послідовно приєднаний додатковий резистор $R_{дод.}$, струм в обмотці реле РП недостатній для спрацювання. Ввімкнення можливе лише при натисканні кнопки “Хід”, а вимкнення – при натисканні кнопки “Стоп”. По суті трипровідна схема керування переходить в двопровідну.

При замиканні ліній 1-3 діод VD шунтується. Реле РП вимикає коло котушки контактора. При замиканні ліній 2-3 самовільного ввімкнення контактора одразу не буде через шунтування діода VD. В двопровідній схемі керування при замиканні жил керування шунтується діод VD (як і в попередній схемі) і РП вимикається, вимикаючи при цьому котушку контактора.

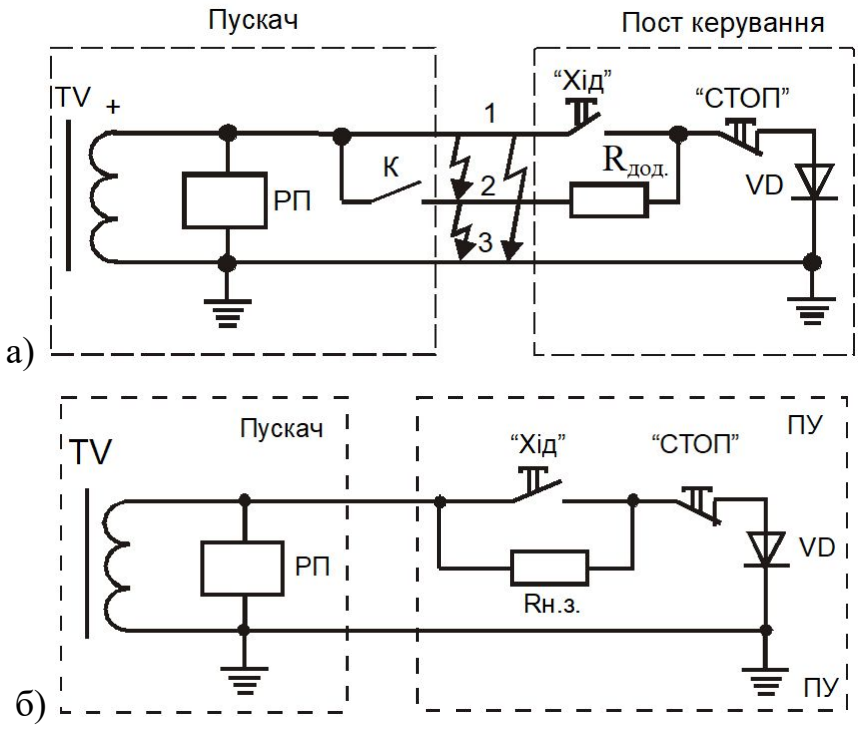



Рис. 8.9. Схема дистанційного керування з реле роду струму:
а) трипровідна схема; б) двопровідна схема

## 8.3. Захист, що обмежує кількість пусків

При частих увімкненнях електродвигуна має місце перегрів його обмоток та контактора пускача пусковими струмами, зверхструмами при противключенні двигуна, який ще обертається, швидке електричне зношування контактів контактора. Крім того, при відключенні пускача і одночасному підключенню блокуючого реле витоку (БРУ) для контролю ізоляції приєднання з двигуном, який ще обертається, можливе хибне спрацювання БРУ внаслідок впливу ЕРС двигуна.

Для обмеження частоти пусків двигуна до 1200 на годину, зменшення перегріву двигуна, зношування контактора та виключення хибних спрацювань БРУ, в схему рудникових пускачів введено реле часу, яке після відключення контактора спочатку шунтує схему дистанційного керування, блокуючи повторне ввімкнення контактора. Схема дистанційного керування (рис. 8.10) деблокується

за допомогою реле РЧ через 3 секунди після відключення контактора, одночасно підключається реле БРУ для контролю ізоляції приєднання.

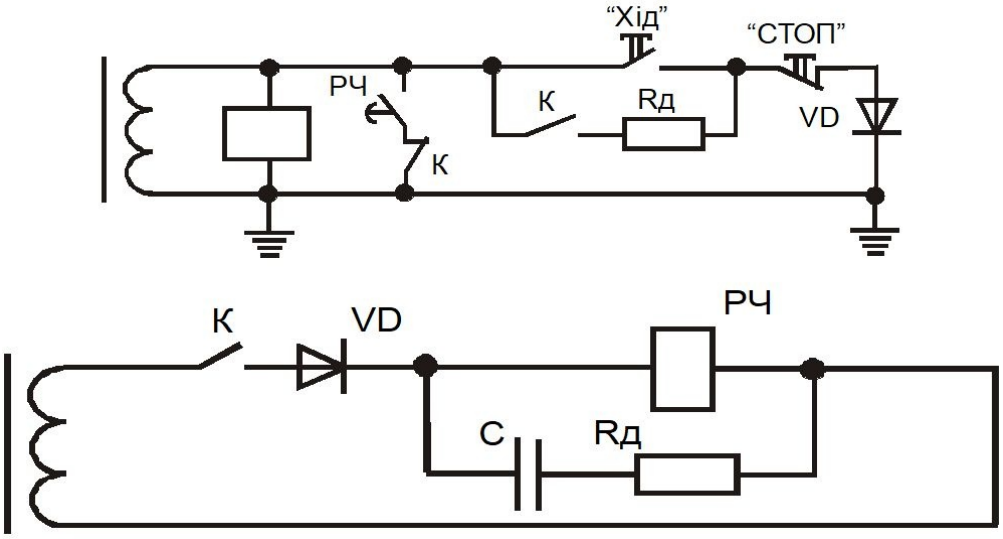



Рис. 8.10. Схема реле часу та його підключення до схеми дистанційного керування

## 8.4. Контроль неперервності кола заземлення. Захист від обриву заземлення

Машини, які пересуваються в процесі роботи, живляться електроенергією за допомогою гнучких кабелів, в яких окрім силових жил та жил керування є заземлююча жила, один кінець якої з'єднаний з заземленим корпусом пускача, тобто з загальношахтним заземленням, а інший – з корпусом машини (рис. 8.11). При такому підключенні машини до заземлення обрив заземлюючої жили приводить до втрати захисного заземлення на пересувній машині, яке довгий час може бути не виявленим. Необхідно, щоб втрата захисного заземлення на машині призводила до її відключення. Цього можна досягти, якщо включити заземлюючу жилу в коло керування (рис. 8.12). Таким чином контролюється цілісність заземлюючої жили або збільшення її опору до неприпустимих значень, коли пускач відключається. Необхідність контролю цілісності заземлюючої жили для

всіх пересувних машин вимагають Правила безпеки. Зрозуміло, що при цьому кола керування повинні бути іскробезпечними.

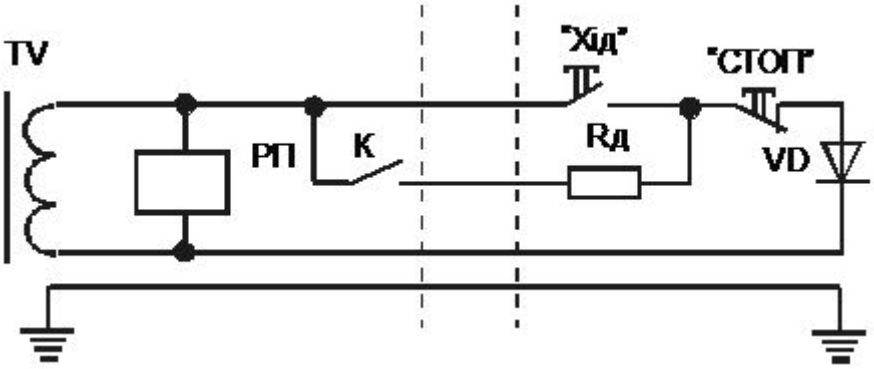



Рис. 8.11. Схеми заземлення пересувної машини без контролю цілісності заземлюючої жили

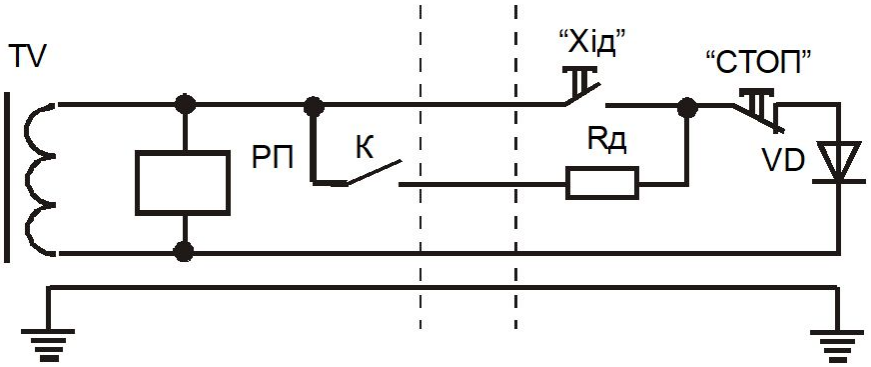



Рис. 8.12. Схеми заземлення пересувної машини з контролем цілісності заземлення

## 8.5. Забезпечення іскробезпеки кіл дистанційного керування і кіл витоків на землю силової мережі

При експлуатації систем електропостачання необхідно попереджувати небезпечні іскріння, які можуть викликати вибух вибухонебезпечного середовища. Ці іскріння можуть з’явитись:

- в колах керування при їх розривах або замиканнях;
- в силових колах через появу струмів витоку на землю силової мережі;
- в колах заземлення і керування через наведену в цих колах ЕРС.

Іскронебезпека кіл керування, враховуючи також використання заземлюючої жили в них, може призвести до спалахування вибухонебезпечного середовища при розриві чи замиканні в них. Крім цього можливі інші шляхи протікання струму керування: а) з корпусу машини на заземлені конструкції; б) з корпусу машини на землю.

В останньому випадку треба мати на увазі, що опір самозаземлення корпусу машини складає 20...60 Ом, тому струм керування, що протікає з корпусу машини на землю, якщо він і є, то невеликий. Крім цього за рахунок хорошого контакту машини з землею він не розривається. Перший випадок (а) розглянемо на прикладі заземлення комбайна та конвеєра лави (рис. 8.13).

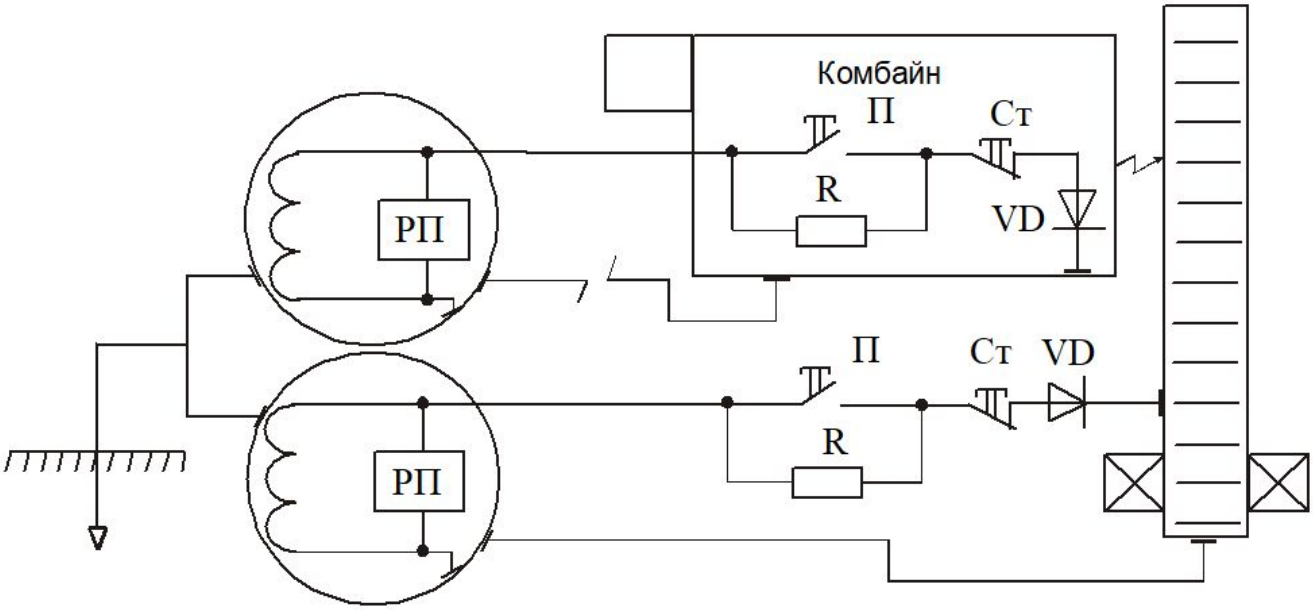



Рис. 8.13. Схема заземлення комбайна та конвеєра

Враховуючи, що комбайн з конвеєром мають не сталий контакт, при обриві заземлення одної машини (наприклад, комбайну) можлива поява небезпечного іскріння між машинами при розриві контакту між ними. Тому необхідно, щоб кола керування машинами були іскробезпечними. Досягається це відповідними засобами зі зниження потужності кіл керування і, відповідно, струму та напруги кіл, зменшенням впливу реактивних елементів та ін.

Можливі також небезпечні іскріння за рахунок струму витоку на землю. Його велична (як вже було розглянуто вище) визначається активним опором ізоляції мережі відносно землі та одночасно ємністю електричної мережі відносно землі. При пошкодженні ізоляції машини можливі два шляхи протікання струму витоку на землю: "корпус машини – земля" та "корпус машини – заземлені конструкції". Перший випадок внаслідок хорошого контакту машини з землею не становить небезпеки, відкрите іскріння в цьому випадку виключене. В другому випадку (рис. 8.13) можлива поява небезпечного іскріння між корпусом комбайна і конвеєра за рахунок струму витоку. Щоб виключити цей небезпечний випадок, необхідно не допускати роботу машини з порушеннями її заземлення, тобто шунтувати струм витоку на землю за допомогою заземлюючого кола. Тому Правила безпеки вимагають наявності обов'язкового контролю цілісності заземлюючої жили та опору кола заземлення як з точки зору електробезпеки, так і з точки зору виключення небезпечних іскрінь струмами витоків на землю.

В процесі роботи в заземлюючій жилі та в жилах керування можуть наводитись ЕРС, які можуть призвести до збільшення або зменшення робочого струму в схемах керування на 30...50 %. Це в свою чергу може призвести до самовільного ввімкнення або вимкнення машини. Наведення ЕРС в жилах керування та заземлюючій жилі відбувається за рахунок електричного та магнітного зв'язків, які визначаються відповідно ємністю і індуктивністю кабелю. Величина електричних зв'язків залежить від напруги силового кола, а магнітних – від струму в колах. Дія напруги живлення суттєво проявляється тільки в момент увімкнення силового кола у вигляді короткочасного викиду наведеної ЕРС тривалістю 1...2 мс, амплітудою 0,3...0,6 від напруги живлячої мережі. Індуктивний зв'язок під дією струму силового кола має найбільше значення і діє постійно. Наведена ЕРС залежить від довжини кабелю і силового струму в кабелі:

$$e_к = K \cdot \omega \cdot I \cdot \frac{\mu}{2\pi} \cdot L_k \cdot e_n \cdot \frac{R}{r} \cdot \sin(\omega \cdot t), \qquad (8.1)$$

де К – коефіцієнт, який враховує вплив фази, до якої підключене джерело живлення схеми керування, $K = \pm\frac{3}{2}\ldots 1$; I – струм в силовому колі; $L_к$ – довжина кабелю; R – відстань від жили заземлення до найбільш віддаленої силової жили; r – відстань від жили заземлення до найближчої силової жили, ω – кутова частота мережі, μ – магнітна проникність.

Наведена ЕРС може бути як зі знаком “+”, так і з “-“. Струм може зменшуватись або збільшуватись в залежності від ЕРС. В шахтних кабелях наведена ЕРС. в заземлюючій жилі складає приблизно $e_к = \left(0,25 \cdot 10^{-4} \div 0,5 \cdot 10^{-4}\right)$ В/А·м, тобто при I=500 А і L=200 м вона досягає 5 В.

Для зменшення впливу наведених ЕРС повинні використовуватись сучасні конструкції кабелів: заземлююча жила повинна розміщуватись в центрі кабелю, допоміжні жили треба розміщувати в одній скрутці симетрично відносно силових жил. При цьому наведена ЕРС зменшується зі зниженням кроку скрутки. Якщо заземлююча жила розміщується несиметрично відносно силових жил, то для зменшення наведеної ЕРС потрібно проводити транспозицію кабелю. Кабель розділяють на три рівні частини і з’єднують за допомогою вулканізатора за схемою, наведеною на рис. 8.14.

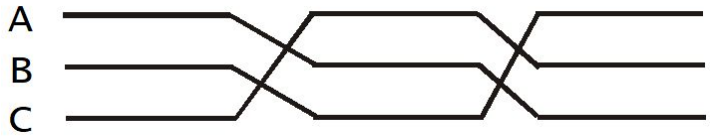



Рис. 8.14. Схема транспозиції кабелю

При використанні тиристорних перетворювачів, ЕРС в колі керування може досягти від 100 до 300 В тривалістю, що не перевищує 1...2 мс. Це може бути причиною виходу з ладу напівпровідникових пристроїв і порушення роботи схеми керування. Можливий вплив на кола керування також інших джерел струму. Так, при роботі обладнання в рудникових умовах, на контактах може осідати волога, пил. Це породжує на контактах гальванічну ЕРС. Параметри гальванічного

джерела (ЕРС) можуть досягти: ЕРС в межах 1...2,8 В; потужність від 2 до 14,5 мВт; напруга на виході від 0,3 до 1,2 В.

В шахтах і рудниках на транспорті широко використовуються контактні електровози, у яких негативним провідником є рейковий шлях, по якому проходять великі струми навантаження.

Оскільки рейки не ізольовані від землі, з'являються блукаючі струми, які протікають по землі та металевих конструкціях (трубопроводи, кріплення, конвеєри, металеві оболонки кабелів, заземлюючі кола та ін.). Величина їх залежить від перехідного опору між рейками та землею, опору рейкового шляху і може досягати значних величин до 0,6...0,8 робочого струму електровоза. З'єднання схеми керування з заземленими корпусами машин та загальношахтною мережею заземлення є головною умовою для переходу блукаючого струму в схеми керування. Наявність декількох паралельних кіл заземлення комбайна та конвеєра та з'єднання їх з розподільчим пунктом дільниці, місцевим заземлювачем та гірничим обладнанням створюють різні умови та шляхи для переходу блукаючих струмів в кола керування.

При цьому підключення схеми керування може бути в режимах:

- місцеве заземлення –коло заземлення – грунт;
- рейки – розподільчий пункт – коло заземлення – грунт;
- рейки – розподільчий пункт – коло заземлення – рейки;

По колах керування в цих випадках протікають блукаючі струми, які порушують нормальну роботу схеми керування. Небезпека від блукаючих струмів зменшується за допомогою наступних заходів:

- монтаж і прокладання кіл заземлення корпусів обладнання виконують з урахуванням виключення можливого електричного зв'язку із рейками;
- розміщення електроапаратів розподільчого пункту на спеціальних ізолюючих настилах;
- не можна розміщувати розподільчий пункт на струмоведучому рейковому шляху;

- місцевий заземлювач повинен розміщуватись у виробці на стороні, де розміщується розподільчий пункт;

- якщо він розміщується з протилежної сторони виробки, то з'єднання заземлювача з апаратурою розподільчого пункту проводиться ізольованими провідниками.

## 8.6. Захист від іскроутворення в штепсельних пристроях

Для попередження роз'єднання силових штепселів під навантаженням (при цьому можливі короткі замикання між полюсами штепселя) використовують додаткові контрольні штирі штепселя, за допомогою яких виконується з'єднання в колі керування пускачем (рис. 8.15), причому контакти ліній керування виконуються коротшими за контакти силових ліній.

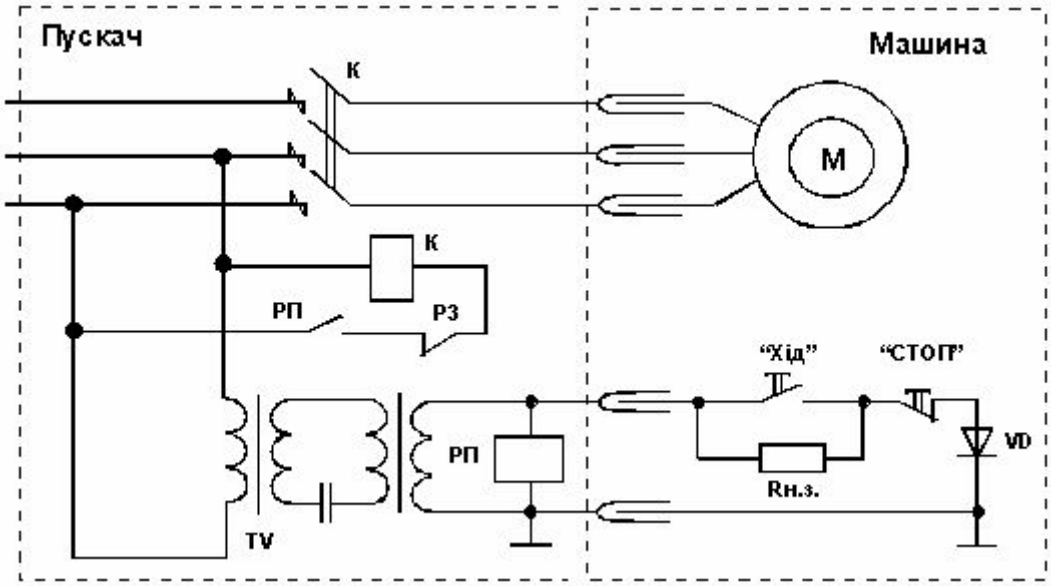



Рис. 8.15. Схема захисту від іскроутворення в штепсельних пристроях

При підключенні штепселя спочатку з'єднуються силові жили, а потім контрольні, а при відключенні штепселя – навпаки з таким розрахунком, щоб силові жили завжди з'єднувались і роз'єднувались без струму, при відключеному пускачі. Таким чином, при відключенні штепселя в першу чергу відбувається

розрив кола керування і якщо в цей час пускач увімкнений, то спрацьовує захист від втрати керування, який вимикає струм в силових жилах до того, як силові контакти штепселя роз'єднаються, завдяки чому і досягається захист від іскроутворення. Також може застосовуватися варіант, коли для роз'єднання штепсель спочатку повертають, а потім витягують. В цьому випадку розрив кола керування відбувається під час повороту штепселя, а розрив силового кола – під час витягування і захист від іскроутворення спрацьовує аналогічно викладеному вище.

## Контрольні запитання

*1. Що таке мінімальний та нульовий захисти, їх задачі та реалізація?*

*2. Як реалізовано захист від втрати керування в рудникових пускачах?*

*3. Як обмежується кількість пусків електродвигуна?*

*4. Як виконується контроль цілісності кіл заземлення?*

*5. Як виконується запобігання роз'єднанню штепсельних з'єднань під навантаженням?*

# ЛЕКЦІЯ 9. Електроустаткування геотехнічних підприємств

9.1. Апаратура ручного керування у колах напругою до 1140 В.

9.2. Контролери.

9.3. Універсальні перемикачі.

9.4. Автоматичні вимикачі в загальнопромисловому виконанні.

9.5. Рудникові автоматичні вимикачі.

## 9.1. Апаратура ручного керування у колах напругою до 1140 В

Електрична апаратура може бути класифікована за такими ознаками: призначенням, способом керування, принципом дії, родом струму, напругою, конструктивним виконанням захисту від навколишнього середовища – відкрите, захищене, закрите, герметичне, вибухобезпечне.

До апаратів ручного керування відносяться: рубильники і перемикачі, пакетні вимикачі, універсальні перемикачі, роз'єднувачі, ручні пускачі, контролери, автоматичні вимикачі та ін.

**Рубильники** є найбільш простими за конструкцією електричними апаратами керування, призначеними для ввімкнення та вимкнення кіл постійного і змінного струму при номінальних струмах до 1000 А. Рубильники випускаються в одно-, дво- і триполюсному виконанні з центральною або бічною ручкою і з бічним або центральним важільним приводом.

Часто рубильники крім головних ножів мають додаткові ножі. При вимиканні головних ножів додаткові ножі на якийсь час залишаються в губках, а потім пружиною швидко вимикаються, чим прискорюється процес гасіння дуги і забезпечується цілісність головних ножів і губок.

**Перемикачі** являють собою перекидний рубильник. За аналогією з рубильниками вони випускаються з центральною або бічною ручкою і з бічним або центральним важільним приводом.

**Пакетні вимикачі і перемикачі** призначаються для кіл постійного і змінного струму напругою до 380 В. Вони застосовуються в якості пускачів для двигунів невеликої потужності (на номінальний струм до 60 А) і перемикачів із зірки на трикутник, у різних схемах керування і сигналізації.

Пакетні вимикачі випускаються одно-, двох- і триполюсними. Вимикач має рухомі і нерухомі контакти. Принципова схема пакетного вимикача показана на рис. 9.1. При повороті ручки рухомі контакти під дією сильних пружин, розташованих під кришкою перемикача, швидко повертаються і роблять одночасно замикання або розмикання декількох електричних кіл.

Перемикач має механізм миттєвої дії, тому швидкість перемикання контактів не залежить від швидкості обертання ручки.

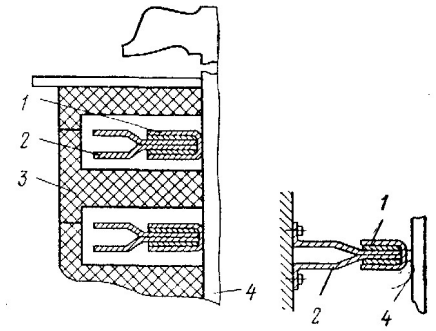



Рис. 9.1. Схема пакетного вимикача: 1 –рухомий контакт (ніж); 2 – нерухомий контакт (щока); 3 – нерухомі кільця (пакети); 4 – валик

Виготовляються пакетні вимикачі: загального призначення (однополюсні, двополюсні, триполюсні), захищеного виконання (двополюсні, триполюсні), герметичного виконання (двополюсні, триполюсні).

Вибираються рубильники і перемикачі, а також пакетні вимикачі і перемикачі за номінальним струмом і напругою з дотриманням умови:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{роб}};\ I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб}}, \qquad (9.1)$$

де $U_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$ – номінальні напруга і струм рубильника або пакетного вимикача; $U_{\text{роб}}$, $I_{\text{роб}}$ – робоча напруга і струм.

## 9.2. Контролери

**Контролери** – апарати, що дозволяють робити ряд операцій у схемах електропривода – пуск, зупинку, реверсування, гальмування і регулювання частоти обертання двигунів постійного струму та асинхронних двигунів із фазним ротором.

Існують дві групи контролерів – безпосереднього, або ручного керування і магнітні контролери. Замикання і розмикання контактів у силових колах контролерів із ручним керуванням виконуються за допомогою механічних пристроїв, які приводяться в дію машиністом. В магнітних контролерах для перемикань у силових колах використовуються контактори і реле, які встановлюються на спеціальних панелях. Керування контакторами і реле в магнітних контролерах здійснюється машиністом дистанційно за допомогою командоконтролерів.

За конструкцією розрізняють контролери барабанного та кулачкового типів. В барабанних контролерах на валу контролера за допомогою сегментоутримувачів закріплюються контактні сегменти, по яких при повороті вала ковзаються контактні сухарі, виконуючи таким чином необхідні перемикання в схемі керування приводом. Приймаючи до уваги, що барабанні контролери не мають дугогасних пристроїв, вони використовуються частіше за все для перемикання в колах без струму. Їх широко використовують як реверсивні вали в комбінованих контролерах (наприклад, в контролерах керування приводом електровоза). Кулачкові контролери мають контактну систему з дугогасним пристроєм, що дозволяє вести перемикання в колах електропривода при значних струмах та підвищує строк служби контролера. Перемикання в колах електропривода виконується у відповідності з програмою, що задається конфігурацією кулачків, розташованих на головному валу контролера. Роботу

кулачкового контролера можна розглянути на прикладі контролера рудникового електровоза (рис. 9.2).

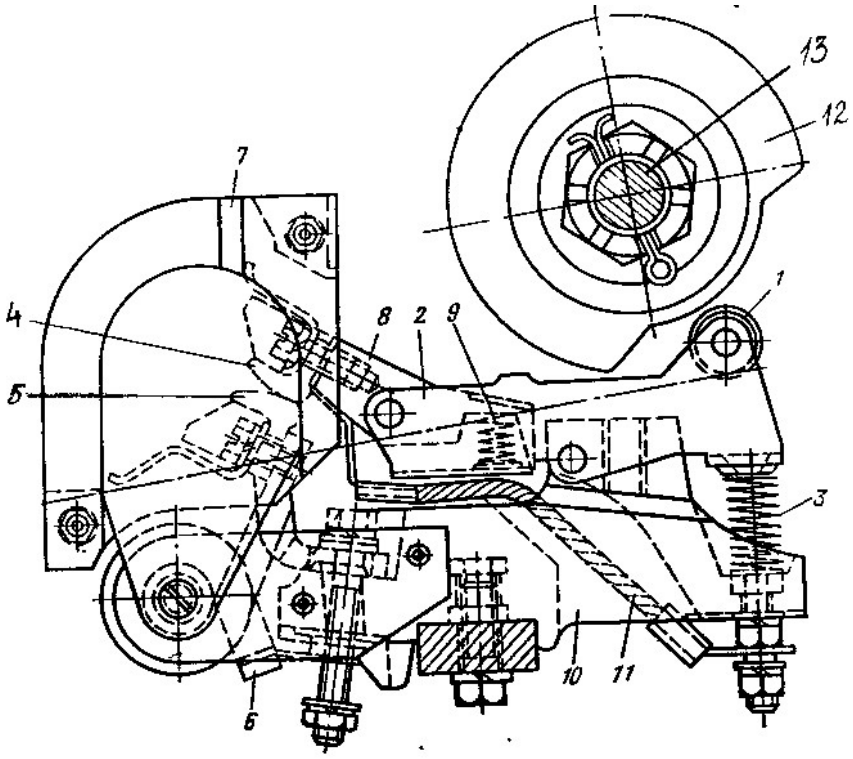



Рис. 9.2. Контакторний елемент кулачкового контролера КВС-201 (кулачковий контактор): 1 – ролик; 2 – важіль; 3, 9 – пружина; 4 – рухомий контакт; 5 – нерухомий контакт; 6 – іскрогасна котушка; 7 – іскрогасна камера; 8 – підтримувач; 10 – ізоляційна колодка; 11 – гнучке з’єднання; 12 – кулачковий диск; 13 – головний вал

Контактний механізм кулачкового контролера складається з рухомого 4 та нерухомого 5 контактів, іскрогасної котушки 6, іскрогасної камери 7, важеля 2, підтримувача 8, пружини 3, гнучкого з’єднання 11, ізоляційної колодки 10, яка з нерухомим контактом 5 закріплюється на вертикальній стійці контролера. Рухомий контакт 4 закріплено на важелі 2, який знаходиться під дією з одного боку пружини 3, а з другого – кулачкового диску 12, який насаджено на головний вал контролера 13. Ролик 1, закріплений на важелі 2, ковзає по виступах та впадинах кулачкового диску (ізоляційної шайби) 12. Впадині відповідає замкнуте положення контактів, а виступу (кулачку) – розімкнуте.

На підтримувачі 8 рухомого контакту 4 закріплена пружина 9, під дією якої при замиканні контакту першими дотикається один до одного зовнішні (верхні) кінці контактів. При подальшому натисканні кулачка на ролик відбувається перекатування (притирання) одного контакту по іншому. При розмиканні процес іде в зворотному порядку. Таким чином, робочі поверхні захищені від іскрінь, тому контакти можуть витримати велику кількість увімкнень.

В контролері контактні елементи розташовуються на вертикальній стійці рядом з кулачковим валом (барабаном), на останній надіті ізоляційній шайби (кулачкові диски), які мають конфігурацію, яка відповідає розгортці контролера. При повороті вала контролера кулачкові диски виконують у відповідній послідовності замикання та розмикання контактних елементів і створюють необхідні з'єднання в електричних колах.

Послідовність замикання та розмикання контактних елементів контролера задається таблицею замикання контактів контролера або схемою (рис. 9.3).

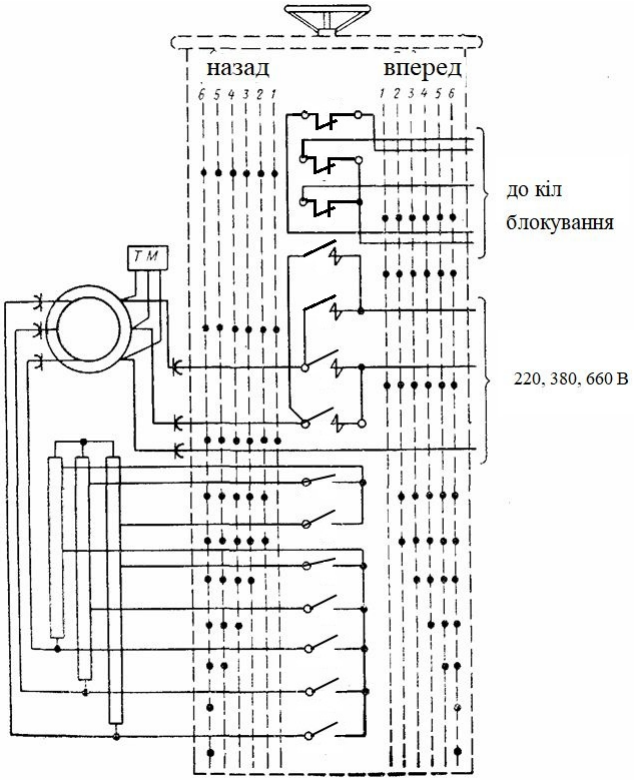



Рис. 9.3. Схема з'єднання кулачкового контролера (ТМ – електромеханічне гальмо)

В електроприводі головних механізмів екскаваторів і потужних бурильних верстатів велике застосування знаходять магнітні контролери з керуванням за допомогою командоконтролерів, використовується два види командоконтролерів: контролери барабанного типу з вугільними щітками і ножним керуванням (типів К-1000; К-1001; К-1004; К-1005; К-1006; ЭК-8200; ЭК-8250); контролери сельсинні, також із ручним і ножним керуванням. Як приклад, на рис. 9.4 показаний пристрій командоконтролера типу К-1000 із ручним керуванням. Всередині литого чавунного корпуса 7 розміщений барабан із двома мідними сегментами 3, що закріплені на ізоляційних секторах 16. Між сегментами й ізоляційними секторами закріплені чотири ізоляційні знімні планки 12 із дугостійкого матеріалу. На валу барабана встановлено храповик 22, що за допомогою собачки 8 і пружини 9 фіксує барабан тільки в нульовому положенні. Упори 21 обмежують поворот барабана. На траверсі 2 встановлено десять вугільних щіток 13. Кожна з щіток вкладена в тримач 1 з пластмаси і за допомогою пружинок притискається до поверхні барабана. Вал барабана обертається на кулькових підшипниках 17. На частину вала, що виступає з корпуса, насаджена ручка 18, якою здійснюється поворот барабану. Між кришкою 11 і корпусом прокладається гумове ущільнення 10. На командоконтролері встановлені дві кнопки, кожна з одним нормально замкнутим і нормально розімкнутим контактами. Бічна кнопка 4 встановлюється з правої або лівої сторони корпуса і закривається кришкою 6. Керується кнопка за допомогою головки 5 із пружинним поверненням. Кнопка 14 вбудована всередину корпуса; керувати цією кнопкою можна за допомогою важелів 15 і 20 з пружинним поверненням 19, закріплених на ручці контролера. Проводи до щіток і кнопок підводяться через дно корпуса командоконтролера.

На рис. 9.5 показано командоконтролер з ножним керуванням, що відрізняється від командоконтролера з ручним керуванням тим, що в нього відсутні храповик, собачка і кнопки.

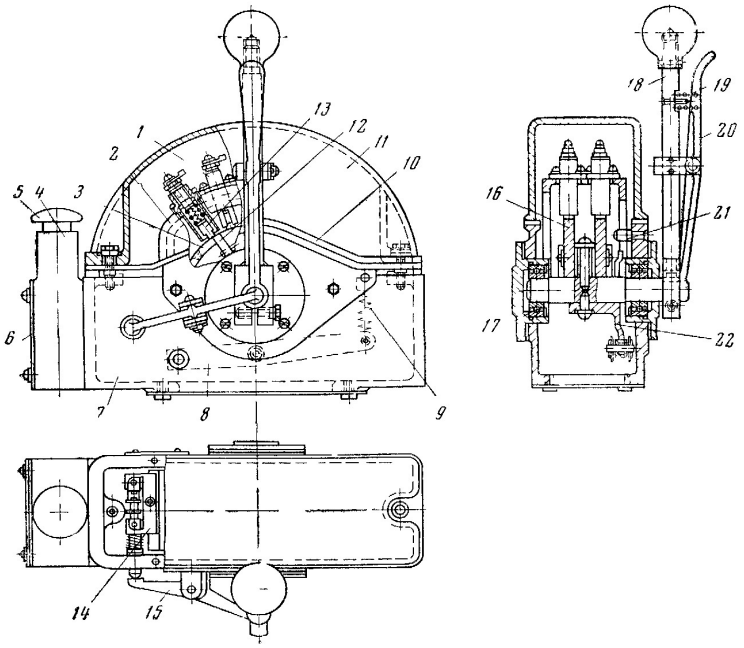



Рис. 9.4. Командоконтролер К-1000: 1 – тримач; 2 – траверса; 3 – мідний сегмент; 4, 14 – кнопка; 5 – головка кнопки; 6 – кришка кнопки; 7 – корпус; 8 – собачка; 9 – пружина; 10 – ущільнення; 11 – кришка корпуса; 12 – знімна планка; 13 – щітка; 15, 20 – важіль керування кнопкою; 16 – ізоляційний сектор; 17 – підшипник; 18 – ручка; 19 – пружина повернення важеля; 21 – упори; 22 – храповик

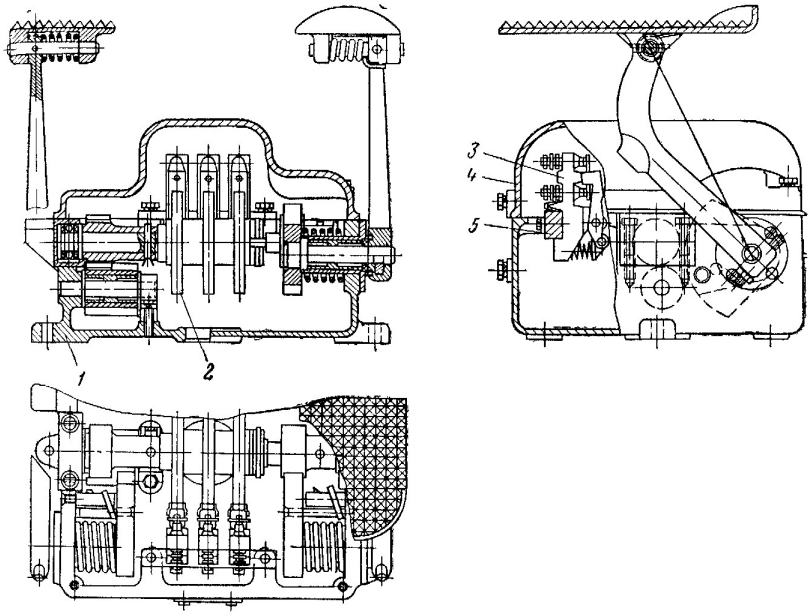



Рис. 9.5. Командоконтролер з ножним керуванням: 1 – корпус; 2 – кулачковий барабан; 3 – кулачкові елементи; 4 – кришка; 5 – рейка

## 9.3. Універсальні перемикачі

**Універсальні перемикачі** є малогабаритними апаратами загального призначення і при використанні в підземних виробках можуть застосовуватися тільки вбудованими у вибухонепроникній оболонці. Вони призначені для не частих переключень і відрізняються один від одного числом секцій, діаграмою замикання контактів, числом фіксованих положень, кутом повороту і формою ручки. На валику закріплені кулачкові шайби, що при повороті ручки перемикають контакти. Перемикач має 16 кіл. Його контакти допускають тривале навантаження струмом до 20 А, а 10-секундне перевантаження до 75 А. Універсальні перемикачі У11-5300 вбудовані, зокрема, у магнітні станції керування типу СУВ-350 і подібні до них.

Для ручного керування електроприймачами напругою до 660 В (асинхронними електродвигунами невеликої потужності, освітлювальними установками) в шахтах, небезпечних за газом або пилом, застосовують пускачі ПРШ-1 (пускач ручний із штепселем) та ПРВ-3. Номінальний струм пускача при напрузі 660 і 380 В складає відповідно 6 і 10 А. У двох фазах встановлені плавкі запобіжники для захисту від струмів КЗ (рис. 9.6).

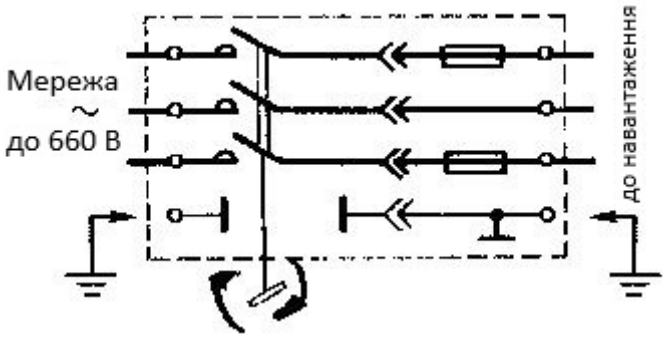



Рис. 9.6. Електрична схема пускача ПРШ-1

Пускач ПРШ-1 складається з власне пускача миттєвої дії (у якого швидкість руху контактів не залежить від швидкості переміщення приводної ручки) і штепселя, оснащеного механічним блокуванням, що не дозволяє ввімкнути

пускач, якщо штепсель не вставлений, і вийняти штепсель при ввімкненому пускачі.

У рудникових електромагнітних пускачах застосовують блокувальні реверсивні роз'єднувачі, що являють собою трипозиційні комутаційні апарати з врубним контактним вузлом. Всі перемикання виконуються тільки при розімкненому головному колі. При повороті вала роз'єднувача встановлені на ньому контактні губки замикають нерухомі контактні ножі. Ввімкнене та вимкнене положення роз'єднувача фіксуються фіксатором.

Для реверсування електродвигунів вугільних комбайнів випускаються вимикачі реверсивні комбайнові ВРК-20 (рис. 9.7, а). Вони використовуються, головним чином, у якості реверсивного роз'єднувача, тобто для підготування кола до вмикання електродвигуна для обертання в той або інший бік, а замикання кола виконується магнітним пускачем на штреку. Вимикачі ВРК-20 мають шість головних і два допоміжних контакти. Головні контакти Q1-Q6 (рис. 9.7, б) – замикаючі, тобто вони розімкнуті при нульовому положенні ручки вимикача, а допоміжні контакти – один замикаючий (Q7), іншій розмикаючий (Q8). Головні контакти Ql-Q3 замикаються при повороті ручки керування в одну сторону (рис. 9.7, в), а Q4-Q6 – при повороті в іншу сторону. Замикання і розмикання головних контактів виконуються за допомогою механізму вмикання, що забезпечує їхнє безмиттєве замикання і миттєве розмикання. Вимикачі встановлюються у вибухонепроникній оболонці комбайна. При повороті ручки в бік вимикнення спочатку розмикається допоміжний контакт Q7, і тільки після цього відбувається миттєве розмикання головних контактів.

Вимикачі випускаються з правим – ВРК-20П (див. рис. 9.7, а) і лівим – ВРК-20Л розташуванням затискачів головного кола. Номінальні напруга і струм головного кола 660 В та 160 А, допоміжного – 36 В та 10 А.

Кнопкові вибухобезпечні вимикачі являють собою одно-, дво- і трикнопкові пости керування. Вибухонепроникна оболонка трикнопочного поста керування КУ-93-РВ (рис. 9.8. а), що входить в серію КУ-90-РВ, складається з корпуса 2 і

кришки 1, виконаних з високотривкого пресматеріалу АГ-4С. На корпусі є дві кабельні муфти 5 і 6 с гумовими каблучками для ущільнення кабелів (діаметром від 10 до 24 мм), які вводяться в кнопковий пост. Корпус розділений перегородкою на камери введень і кнопкових елементів. Приєднувальні штифти на панелях кнопкових елементів виконують також функцію прохідних затискачів, що з'єднують обидві камери.

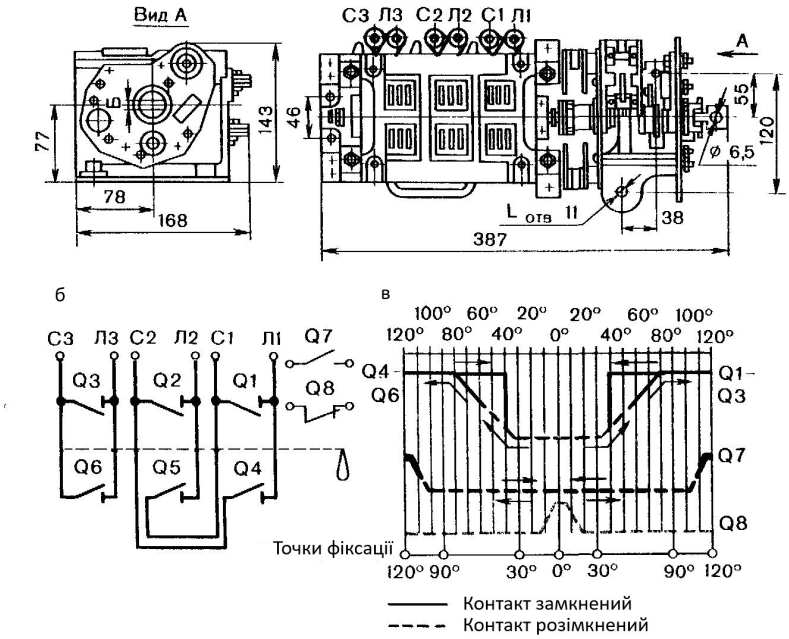



Рис. 9.7. Загальний вигляд (а), електрична схема (б) і діаграма роботи контактів (в) реверсивного комбайнового вимикача ВРК-20

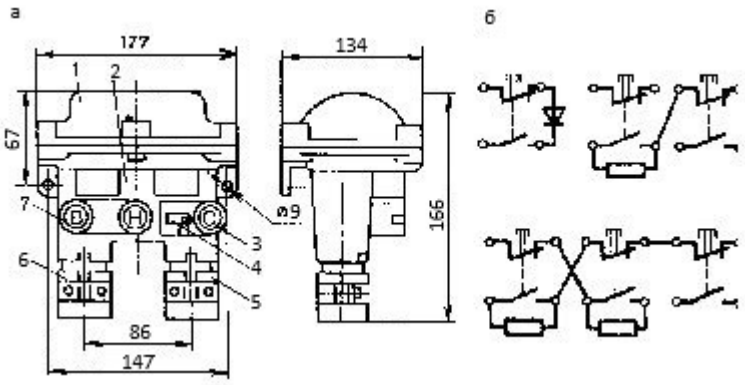



Рис. 9.8. Кнопковий пост керування КУ-90-РВ: а) загальний вигляд; б) принципова електрична схема. Цифрами позначено: 1 – кришка; 2 – корпус; 3 – ручка керування кнопки "Стоп"; 4 – засувка; 5, 6 – кабельні муфти; 7 – спільна ручка керування кнопок "Вперед" і "Назад"

Номінальні напруга і струм кнопкових елементів – відповідно 60 В та 10 А. Контакти замикаються і розмикаються за допомогою скоби, закріпленої на валику ручки керування. У трикнопковому пості для двох кнопкових елементів використовується спільна ручка керування 7, виконана у вигляді двоплечового важеля з написами В ("Вперед") і Н ("Назад"). Ручка керування 3 кнопки С ("Стоп") має засувку 4 прапорцевого типу, за допомогою якої ручка може фіксуватися в натиснутому положенні.

При використанні постів керування серії КУ-90-РВ в іскробезпечних колах керування в їх корпуси вбудовують діоди Д226В і резистори МЛТ-2-47 Ом (рис. 9.8, б), які монтуються на панелях кнопкових елементів.

Для керування пускачами очисних комбайнів, прохідницьких машин та інших шахтних механізмів застосовують також кнопки КУВ-20, що стають вибухобезпечними тільки після вбудовування їх у вибухонепроникні корпуси електроблоків цих машин.

На підприємствах підземного будівництва для приєднання пересувних струмоспоживачів з номінальною напругою змінного струму до 380 В та постійного струму напругою до 220 В широко використовують ящики ЯРШ та ЯРП-11. Ящик ЯРШ має кліматичне виконання У2, складається з сталевого корпусу з вбудованим в нього пакетним вимикачем та штепсельним роз’ємом. Ящики ЯРП-11 мають ступінь захисту IP-32 і кліматичне виконання У3.

Ящики ЯРП11-301-32У3 і ЯРП11-302-32У3 розраховані на номінальний струм 80 А (плавкі вставки запобіжника 30, 40, 50, 60, 80 А), ящики ЯРП11-341-32У3 і ЯРП11-342-32У3 – на номінальний струм 200 А (плавкі вставки 80, 100, 120, 150, 200 і 250 А).

Ящики дозволяють здійснювати введення до двох кабелів або труб як згори, так і знизу ящика, мають механічне блокування відкриття кришки ящика при ввімкненому рубильнику.

## 9.4. Автоматичні вимикачі в загальнопромисловому виконанні

Одними з основних апаратів ручного керування є автоматичні вимикачі.

**Автоматичні вимикачі** призначені для ввімкнень і вимкнень під навантаженням магістральних мереж змінного і постійного струму і захисту цих мереж від значних перевантажень за струмом і струмів КЗ, а в окремих випадках і при зниженні напруги. У комплекті з реле витоку на землю автоматичні вимикачі виконують також захист від струмів витоку на землю. Вмикання вимикачів усіх серій здійснюється вручну, відключення – вручну або автоматично при спрацьовуванні одного з видів вбудованого захисту. В окремих вимикачів є дистанційне відключення. Автоматичні вимикачі з вбудованими в їх конструкцію спеціальним приводом можуть бути з дистанційним увімкненням і вимкненням. Автоматичні вимикачі виготовляються в загальнопромисловому та вибухобезпечному виконанні.

Вимикачі (автомати) можна класифікувати за наступними ознаками: за номінальним струмом – наприклад, 25-2500 А; за числом полюсів – одно-, дво-, і триполюсні; за наявністю розчеплювача максимального струму – без розчеплювача, з електромагнітними або комбінованими розчеплювачем; за наявністю додаткових розчеплювачів – без них, із дистанційним розчеплювачем, із розчеплювачем мінімальної напруги; номінальному струму розчеплювача; за наявністю або відсутністю допоміжних контактів; за способом приєднання зовнішніх провідників – переднє або заднє приєднання, штепсельні контакти; за способом виконання по ступеню захисту – відкрите (IP00), захищене (IP23), пилонепроникне (IP54) і т.п.

Нормальний режим роботи вимикачів – тривалий. Основними елементами конструкції автоматів є: контактна система і система допоміжних контактів, механізм керування, розчеплювачі, дугогасні камери, ввідні та вивідні затискачі та інші допоміжні вузли та деталі.

Розрізняють автоматичні вимикачі універсальні, установчі та швидкодіючі.

Універсальні автомати мають велику кількість конструктивних виконань, випускаються на значні струми і здебільшого використовуються для встановлення в розподільчих пристроях. В гірничій промисловості набули поширення універсальні автомати серій АЕ2000 та АВМ, АВМУ на номіналі струми до 2000 А, серія Е “Електрон” на номінальні струми до 5000 А.

Вимикачі серії АЕ2000 загального призначення використовують в колах змінного струму напругою до 660 В та до 220 В в колах постійного струму для захисту електричних кіл від струмів КЗ та перевантажень, для захисту пуску та зупинки асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором, а також для оперативних увімкнень та вимкнень вказаних кіл. Їх випускають на струми від 10 до 100 А одно-, дво-, три- та чотириполюсними. За видами максимального розчеплювача струму – без розчеплювача, з електромагнітним і комбінованим розчеплювачем (електромагнітний та тепловий). Вимикачі можуть бути без додаткових розчеплювачів, з незалежним розчеплювачем, з мінімальним розчеплювачем, незалежним та мінімальним розчеплювачем.

Автоматичні вимикачі АВМ випускаються на струми від 400 до 2000 А без витримки часу спрацювання захисту (Б), неселективним захистом (Н), селективним захистом (С), викатними (В). Вимикачі АВМУ розраховані на напругу мережі 660 В, номінальні струми 200, 400, 630 А і вмонтовуються також у вибухобезпечні корпуси рудникових автоматичних вимикачів та рудникових пересувних підстанцій.

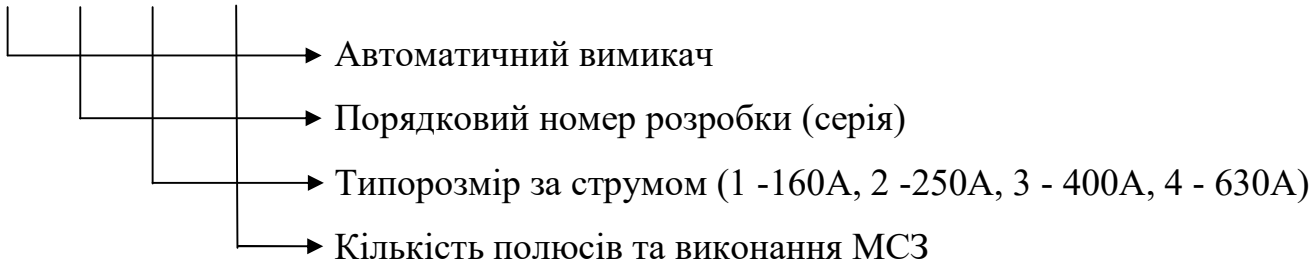
Автоматичні вимикачі серії Е випускаються на струми 1000, 1600, 2500 та 5000 А, викатні мають напівпровідникові максимальні розчеплювачі з зонами спрацювання 3, 5, $7I_{ном}$ та зонами спрацювання розчеплювача при перевантаження від 0,8 до $2I_{ном}$.

Установочні автомати більш прості за конструкцією, менші за розмірами, випускаються на менші потужності. Представниками установочних є автомати серій А3100 та А3700. Автоматичні вимикачі А3700 мають стаціонарне та викатне виконання, електромагнітні та термобіметалеві розчеплювачі зі спрацюванням

захисту без витримки часу (Б), селективні (С), з розчеплювачем мінімальної напруги (Н).

Маркування вимикача має наступну структуру.

А 37 0 0




Так, наприклад, автоматичний вимикач А3746Б розрахований на струм 630 А, має триполюсне виконання, електромагнітний та термобіметалевий розчеплювачі з спрацюванням МСЗ без витримки часу.

Для вимикання та обмеження струму КЗ. в мережі створені струмообмежуючі автомати, які крім відключення струму КЗ обмежують величину аварійного струму до відповідного значення та час його дії (рис. 9.9).

Рис. 9.9. Амперсекундна характеристика вимикання КЗ

Для цього в струмообмежуючих автоматичних вимикачах використовують спеціальні електродинамічні пристрої (рис. 9.10), в яких при досягненні струмом КЗ заданого значення ще до спрацювання механізму вільного розчеплення має місце відкидання контактів електродинамічними силами (рухома частина 3 відчуває силу притягнення до деталі 4 та силу відштовхування від нерухомої деталі 2) і в колі, що розмикається через 1-2 мс з’являється дуга, яка обмежує аварійний струм КЗ. Контакти після їх відкидання уже не можуть доторкатися

один до другого, тому що своєчасно спрацьовує механізм вільного розчеплення. Струмообмежуючі властивості мають автоматичні вимикачі серії А3700У.

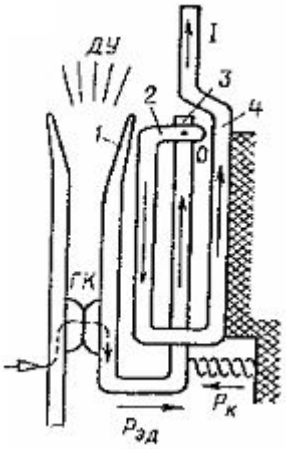



Рис. 9.10. Електродинамічний елемент для розмикання контактів:
1 – дугогасний контакт; 2, 4 – нерухома частина провідника; 3 – рухома частина провідника

**Вимикачі серії А3700У** можуть працювати на напрузі до 440 В постійного і 660, 1140 В змінного струму.

Вимикач серії А3700У (рис. 9.11) складається з рухомих 11 і малорухомих 3 контактів, до яких припаяні метало-керамічні накладки 10 із срібла (може бути нікель, графіт). Рухомі контакти кожної фази встановлені в ізоляційні контактоутримувачі, закріплені на валу 4 і зв'язані з механізмом керування 8; крім цього до складу автомату входять: дугогасні камери 2 і полум’ягасні 13, максимальні розчеплювачі 5 із регульованою і нерегульованою уставкою; пластмасовий корпус 1, закритий основною кришкою 12 і додатковою 7; відключаюча рейка 6; ручка вмикання 9. Крім того, вимикач містить допоміжні контакти, незалежний і нульовий розчеплювач. Для розділення полюсів (фаз) вимикача всередині корпусу і кришки є перегородки. Механізм керування виконаний за принципом важеля, що ламається, що забезпечує миттєве замикання і розмикання контактів, яке не залежить від швидкості руху ручки, а також миттєве розмикання контактів при повороті відключаючої рейки, при

спрацьовуванні максимального, нульового або незалежного розщеплювача. Вимикачі даної серії виконані для умов помірного клімату і вбудовуються в рудникові автоматичні вимикачі, станції керування і розподільчі пристрої нижчої напруги пересувних дільничних трансформаторних підстанцій.

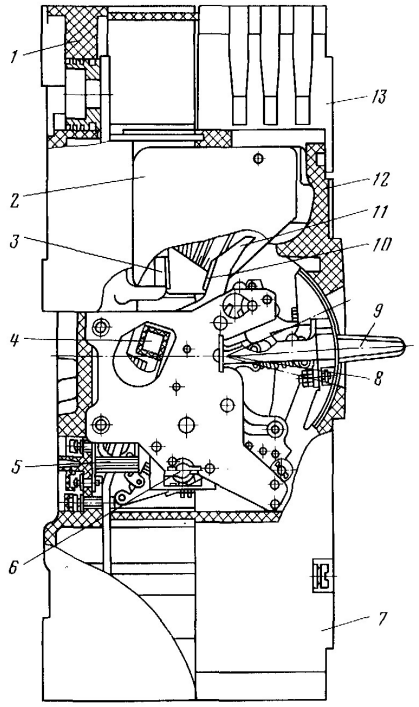



Рис. 9.11. Вимикач серії А3700У: 1 – корпус; 2 – дугогасяча камера; 3 – малорухомий контакт; 4 – вал; 5 – максимальний розчеплювач; 6 – відключаюча рейка; 7 – додаткова кришка; 8 – механізм керування; 9 – ручка вмикання; 10 – метало-керамічна накладка; 11 – рухомий контакт; 12 – основна кришка; 13 – полум’ягасна камера

Для керування та захисту електродвигунів потужністю до 14 кВт широке поширення набули автоматичні вимикачі типу АП-50 на струм до 50 А з електромагнітним та тепловим розчеплювачами. Ці автоматичні вимикачі використовуються також в пускових агрегатах та магнітних станціях в вибохубезпечному виконанні.

Швидкодіючі автоматичні вимикачі використовують для захисту установок великої потужності для кіл постійного струму напругою до 3000 В (в колах

тягових підстанцій та мереж). Це різні типи автоматичних вимикачів серій ВАБ, які виконуються відключення пошкодженого кола за час 1-10 мс.

Серед швидкодіючих автоматичних вимикачів розрізняють автомати зворотного струму, лінійні автомати та інші. Швидке розмикання контактів дозволяє обмежити струм КЗ за рахунок опору дуги, яка з'являється між контактами. Для забезпечення високої швидкодії максимально зменшують масу рухомих деталей автомата, крім того в них відсутні проміжні передавальні механічні ланки від електромагнітних елементів, які виконують вимкнення. Швидкодія досягається шляхом використання спеціальних магнітних систем (рис. 9.12), коли на магнітопроводі розташовують три обмотки: обмотка вимкнення $\omega_0$, що приєднана послідовно в коло мережі, що захищається, бмотка ввімкнення $\omega_в$ та утримуюча обмотка $\omega_у$.

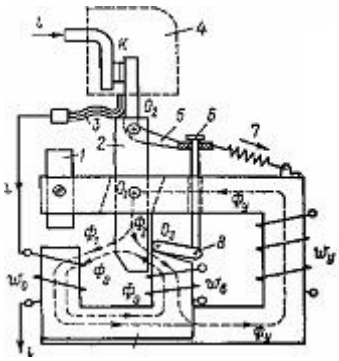


Рис. 9.12. Спеціальна магнітна система автоматичного вимикача ВАБ: 1 – додатковий полюс; 2 – якір; 3 – гнучкий провідник; 4 – дугогасна камера; 5 –важіль; 6 – тяга; 7 – пружина

Диференційний принцип дії електромагнітних сил на якір електромагніта призводить до того, що при появі струму КЗ результуючий потік в одному (лівому) проміжку збільшується, а в іншому – зменшується, що зменшує час спрацювання автомата.

В останній час на ринку електричного обладнання значного поширення набули автоматичні вимикачі багатьох фірм країн Європи. Так, фірма LE GRAND (Франція) випустила на ринок автоматичні вимикачі серій ДРХ в діапазоні

номінальних струмів від 25 до 1600 А. Автомати 4 та 5 величин (з $I_{ном}$ відповідно 630 та 1600 А) оснащені електронним розчеплювачем з розширеними функціональними можливостями: тепловою пам'яттю, захистом від струмів витоку; логічною селективністю; пріоритетним вимкненням навантажень, розширеними можливостями зміни уставок спрацювання; рядом додаткових функцій (перевірка працездатності розчеплювача, контроль захисної характеристики, запам'ятовування причини останнього вимкення, кількості відключень, вимірювання фазного струму, температури всередині автомата), а також функціями АВР.

Теплова пам'ять заснована на запам'ятовуванні рівня нагріву при перевантаженні відповідного значення. Якщо це значення буде перевищено повторно, то витримка часу автомата зменшиться, тобто повторне вимкнення перевантаження автомат виконує швидше.

Для обмеження максимальних струмів в мережі автомат може вимикати менш відповідальні електроспоживачі за рахунок неперервного вимірювання струму та подачі сигналу керування на вимкнення комутаційних апаратів в колах непріоритетних споживачів. Автоматичний вимикач передбачає три варіанти ввімкнення резерву: ручний, дистанційний (кожен автомат оснащується електричним приводом) та автоматичний (при цьому використовується спеціальний блок, який визначає відсутність чи зниження напруги в основній мережі і дає команду на вимкнення автомата основної мережі та ввімкнення автомата резервної мережі).

З інших автоматичних вимикачів можна навести перспективні серії вимикачів NZM 7 (40-250 А), NZM 10 (250-630 А) та NZM 14 (630-1600 А) фірми Moeller. Автоматичні вимикачі NZM 7 розраховані на напругу до 660 В, виконані в трьох категоріях номінальної вимикаючої здатності 35, 65, 100 кА, мають електромагнітний розчеплювач для захисту від струмів КЗ та біметалевий розчеплювач для захисту від перевантажень.

Серія NZM 7 має широкий асортимент додаткових універсальних пристроїв (рис. 9.13), які суттєво розширюють можливість використання автоматичних вимикачів, дозволяють спеціалісту творчо підходить до проектування електроустановки.

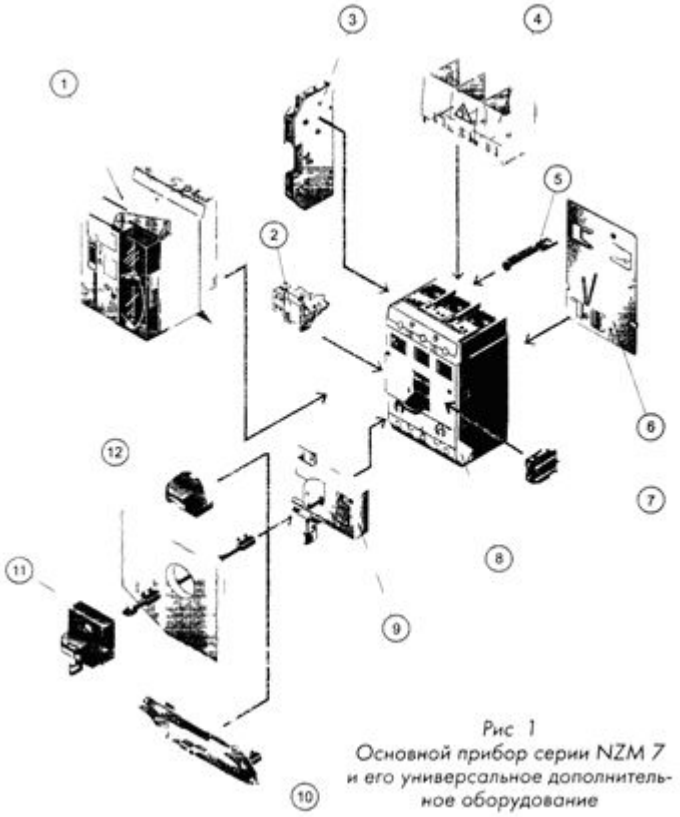



Рис. 9.13. Основний прилад серії NZM 7 і його універсальне допоміжне обладнання: 1 – моторний привод; 2 – розчеплювач мінімальної напруги; 3 – блок сигналізації; 4 – кришка контактів; 5 – силовий затискач; 6 – задня кришка; 7 – додаткові контакти; 8 – автоматичний вимикач; 9 – ручний поворотний привод; 10 – паралельний привод двох приладів; 11 – ручка, що замикається; 12 – поворотна ручка

Основний пристрій – автоматичний вимикач (8) може бути в три- або чотириполюсному виконанні. В ньому можуть бути вмонтовані котушки вимикання для дистанційного вимкнення. Додаткові контакти (7) для внутрішнього монтажу повторюють положення головних контактів. Блок сигналізації (3) для бічного монтажу формує сигнал про відключення автомата (за допомогою розчеплювачів чи дистанційно). Розчеплювач мінімальної напруги (2) вимикає автоматичний вимикач при втраті або зниженні напруги, він

використовується для дистанційного вимкнення, взаємного блокування, роботи з кінцевими вимикачами та ін.

Моторний привод (1) для дистанційного ввімкнення та вимкнення (самостійний блок), легко монтується на лицевій стороні вимикача. Ручний поворотний привод (9) дозволяє вмикати механізм пристрою, поворотна ручка (12) призначена для керування приладом після відкриття дверей розподільчої шафи, а для керування при закритих дверях використовують ручку (11), що замикається. Для синхронізації роботи двох приладів служить паралельний привод двох приладів (10). Різноманітний набір силових затискачів (5) дозволяє приєднувати кабелі, шинні струмопроводи, проводи; інтегрована кришка силових затискачів є необхідним елементом безпеки. Ззаду автоматичний вимикач закривається кришкою (6). Вільному доступу до фазних контактів запобігає кришка контактів (4). Для вимикачів струмом до 200 А розроблено модуль висувного виконання, який забезпечує швидку заміну приладів.

## 9.5. Рудникові автоматичні вимикачі

Тривалий час в підземних виробках шахт та рудників використовувалась серія рудникових автоматичних вимикачів АФВ (рис. 9.14), які являють собою універсальний автоматичний вимикач АВ-4У (200, 350, 400 А) або АВ-6УК (500, 550 А), вмонтований у вибохонепроникний корпус. Захист від струмів КЗ в АФВ виконується за допомогою двох первинних реле струму QF2.1 та QF2.2. Для перевірки роботи захисту та механізму вільного розчеплення використовують котушки перевірки ОП1 та ОП2 (котушки напруги), приєднані в коло паралельно через кнопки перевірки SB1 та SB2.

**Автоматичні вимикачі серії АВ** розроблені на номінальні струми 200, 250, 315, 320 і 400 А при номінальній напрузі 380/660 або 1140 В. В усіх виконаннях вимикачів АВ використані автоматичні вимикачі серії А3700У. Вимикачі АВ випускають без дистанційного відключення АВ-315Р і АВ-320Р, з дистанційним

відключенням (ДО), із пристроєм автоматичного повторного вмикання (АПВ). Промисловість нині випускає один вимикач з дистанційним відключенням серії АВ на струм 400 А (АВ-400ДО, АВ-400ДО2).

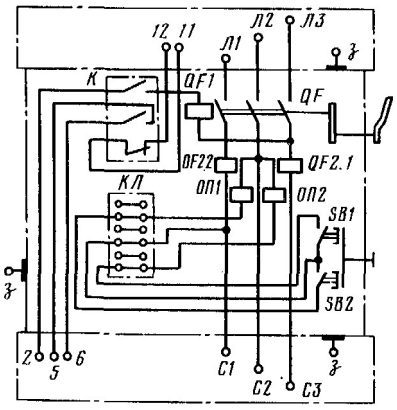



Рис. 9.14. Принципова електрична схема АФВ

У конструктивному відношенні вимикачі АВ складаються з автоматичного вимикача з механічним або електромагнітним приводом; блокувального роз'єднувача або перемикача; трансформатора живлення, блоків ПМЗ, ДВ, БРВ, БВ, АПВ (в залежності від призначення) та інших допоміжних елементів. Конструкція вимикачів АВ-400 показана на рис. 9.15.

З 2001 року Торезський електротехнічний завод розпочав випуск автоматичних вимикачів АВВ-400/250ДОМ (рис. 9.16), які є аналогом автоматичних вимикачів АВ-200ДО, АВ-320ДО та ін., що випускалися раніше.

Електричні схеми АВ забезпечують: ручне ввімкнення та вимкнення; дистанційне відключення (крім АВ без ДВ); можливість приєднання апаратури захисного відключення електроенергії (реле витоку, аналізатор метана, апаратура контролю повітря та ін.); електричне блокування, що перешкоджає спрацьовуванню вимикача при зниженні опору ізоляції відносно землі нижче 30 кОм на ділянці мережі, що відходить від вимикача; світлову сигналізацію про вмикання АВ, спрацьовування ПМЗ і БРВ; перевірку дії ПМЗ і БРВ; захист: від струмів КЗ; при обриві кола ДВ; від втрати керованості; нульовий захист.

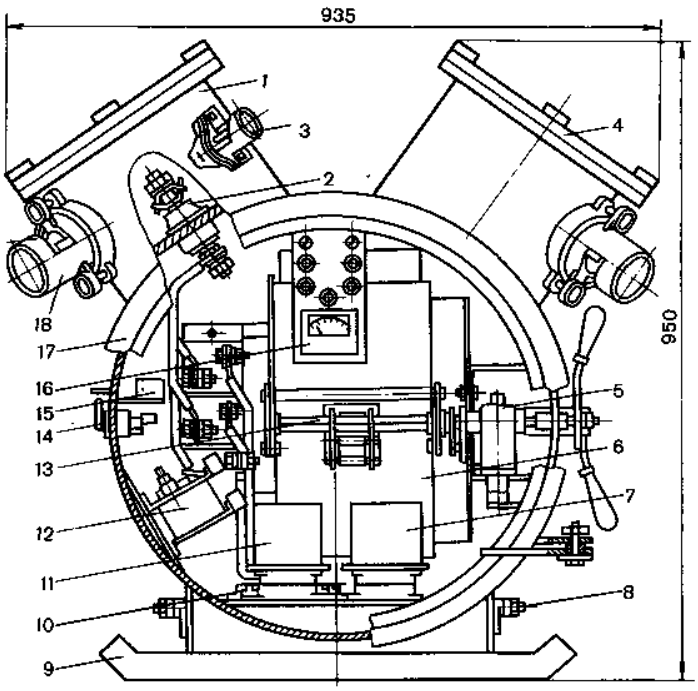



Рис 9.15. Автоматичний вимикач АВ-400: 1 і 4 – відділення виводів і вводів; 2 – силові прохідні затискачі; 3 – ввідні пристрої; 5 – блок максимального струмового захисту; 6 – панель автоматичного вимикача; 7 – блок контролю ізоляції; 8 – заземлюючий затискач; 9 – салазки; 10 – збірка затискачів; 11 – блок дистанційного керування; 12 – трансформатор; 13 – привод автоматичного вимикача; 14 – ручки приводу кнопок; 15 – кнопки; 16 – панель з лампами; 17 – корпус; 18 – ввідні пристрої силових кабелів

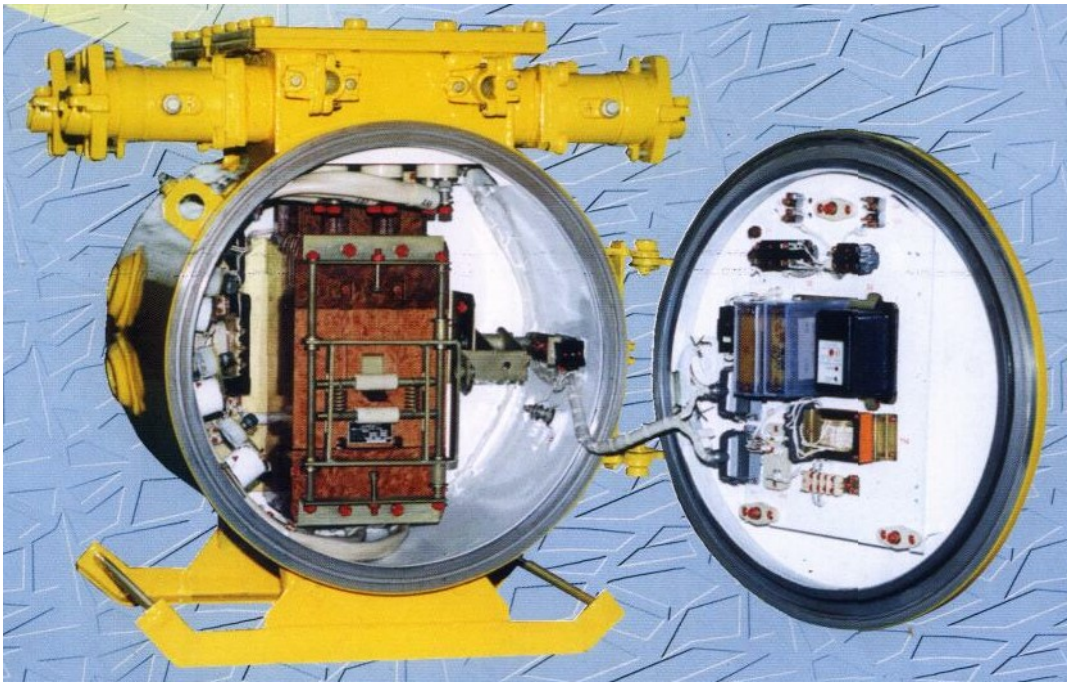


Рис. 9.16. Автоматичний вимикач вибухозахищений АВВ-400/250ДОМ

Наведена на рис. 9.17 електрична схема автоматичного вимикача серії АВ містить наступні елементи: блокувальний роз'єднувач QS; автоматичний вимикач QF із незалежним QF1, нульовим QF2 і максимальним QF3 розчеплювачем; блок А1 (ПМЗ); трансформатори струму ТА1-ТА3, трансформатор напруги TV; блоки А5 (БРВ), А3 (ДВ), А6 (приєднання БРВ), А2 (діодів); кнопки: S1 (перевірки БРВ), S2 (повернення ПМЗ); сигнальні лампи Н1-Н3; вольтметр PV із додатковим резистором R.

Автоматичний вимикач має напівпровідниковий максимальний захист типу ПМЗ у трифазному виконанні.

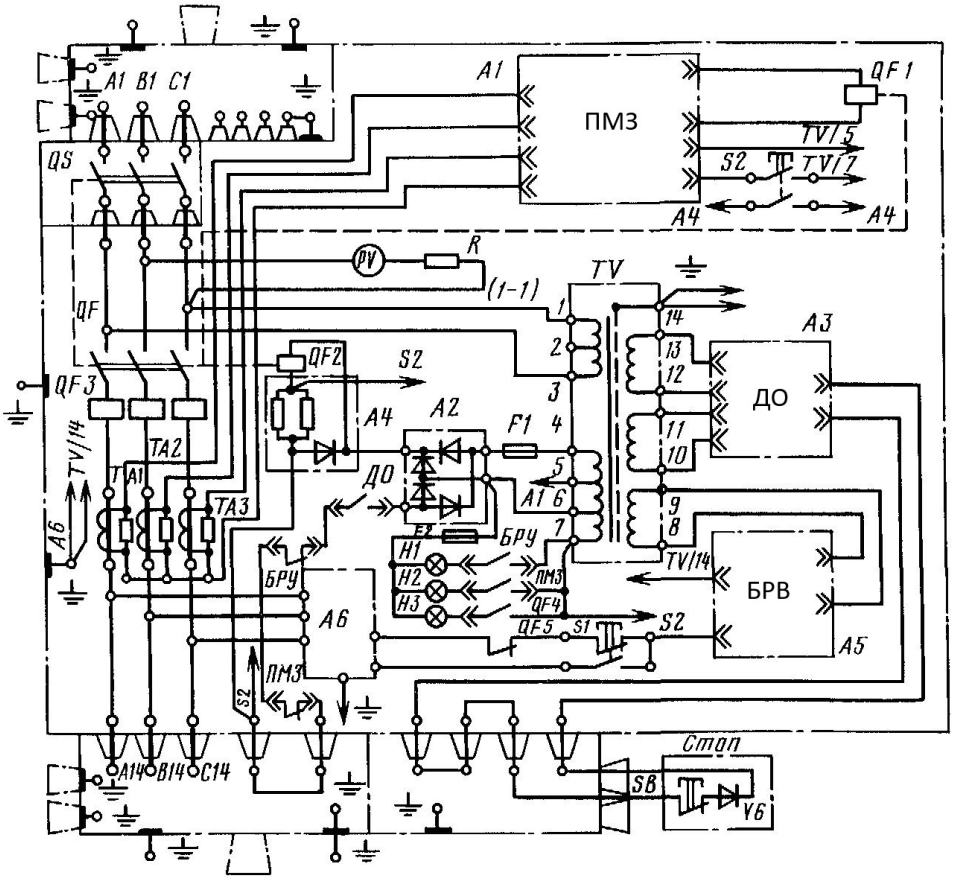



Рис. 9.17. Принципова електрична схема автоматичного вимикача АВ-400

**Блок ДВ**, принципова електрична схема якого наведена на рис. 9.18, живиться від двох вторинних обмоток трансформатора TV напругою 18 В. Через контакти 1 і 11 контрольний кабель з'єднує кола блока з винесеним кнопковим постом дистанційного відключення, де встановлена кнопка SB («Стоп») і діод V6.

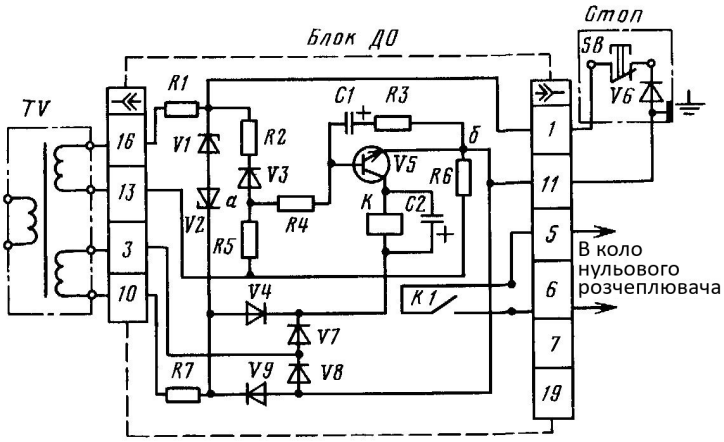



Рис. 9.18. Принципова електрична схема блока ДВ

Блок ДВ складається з вимірювальної і виконавчої частин. Вимірювальна частина містить міст постійного струму, плечими якого є резистори R2, R5, R6 і опір кола заземлення. У вимірювальну діагональ моста приєднаний резистор R4 і послідовно з ним перехід база-емітер транзистора V5, приєднаного за схемою з загальним емітером. Виконавча частина схеми містить перехід емітер-колектор транзистора V5, обмотку К виконавчого реле і конденсатор С2. Через виводи 5 і 6 замикаючий контакт К.1 приєднаний в коло нульового розчеплювача автомата серії А3700У. Іскробезпечність кіл дистанційного керування забезпечується резисторами R1 і R7, стабілітронами V1 і V2.

Вибір параметрів резисторів моста виконаний таким чином, що при нормальному режимі роботи схеми (коло ДВ – кнопка SB замкнута) точка *а* знаходиться під позитивним потенціалом відносно точки *б*. Виходить, що до переходу база-емітер транзистора V5 прикладена відкриваюча напруга. Реле К спрацьовує, його контакт К.1 замкнутий. При збільшенні опору кола заземлення вище припустимого точка *а* набуває негативного потенціалу відносно точки *б*. Транзистор V5 закритий, реле К відпускає контакти, контакт К.1 розімкнеться і розімкне коло нульового розчеплювача. Вимкнення автоматичного вимикача відбувається також при обриві кола заземлення або натисканні кнопки SB («Стоп»).

Для захисту від втрати керованості використовується діод V6 і конденсатор C1, що шунтує перехід база-емітер транзистора V5. При замиканні між собою жил ДВ шунується діод V6 і в колі протікає змінний, а не випрямлений струм. У перший півперіод струм від вторинної обмотки трансформатора TV проходить по колу: контакт 13, резистори R5, R4, конденсатор C1, резистор R3, контакт 11, місце замикання кола ДВ, контакт 1, резистор R1, контакт 16, обмотка TV. Перехід емітер-база шунтується конденсатором C1, що заряджається; транзистор V5 закривається і залишаєтсья закритим при розряді конденсатора, що не дозволить спрацювати реле.

**Блок БРВ** (блокувальне реле витоку) призначений для контролю опору ізоляції відносно землі приєднань на виході вимикача поки він вимкнений. При зниженні опору ізоляції нижче норми вимикач неможливо ввімкнути.

Пристрій БРВ, принципова електрична схема якого показана на рис. 9.19, складається з джерела живлення (вторинна обмотка TV) і безпосередньо блока БРВ, в якому розміщені елементи схеми. Блок БРВ складається з випрямного моста (діоди V5-V8), підсилювача постійного струму (транзистори V2 і V4), вимірювального моста (резистори R1 (або R2), R3-R5) і опору ізоляції мережі відносно землі, в одну з діагоналей якого приєднаний перехід емітер-база транзистора V2. Ця вимірювальна частина БРВ приєднана до фаз мережі через кнопку S1 і блок приєднання A1 (див. рис. 9.17 блок A6 і контакт QF.5).

Виконавча частина схеми складається з електромагнітного реле K.1, згладжуючих конденсаторів C1 і C2, переходу емітер-колектор транзистора V4. Коло контролю опору ізоляції мережі наступний: обмотка TV, плюс випрямного моста, резистор R1, діод V1, кнопка перевірки, контакт QF.5 (на рис. 9.17), блок приєднання, фаза мережі, опір ізоляції мережі відносно землі, земля, резистор R5, мінус випрямного моста. Струм обмотки TV проходить також через резистори R3 і R4.

При зміні опору ізоляції мережі відносно землі змінюється струм витоку, що викликає відповідну зміну значення і полярності напруги діагоналі моста

опорів. При однофазному струмі витоку на землю або зниженні опору ізоляції нижче уставки спрацьовування транзистори V2 і V4 відкриваються, що приводить до спрацювання реле К. Контакти реле змінюють своє положення, контакт К.2 – розмикається і не дозволяє ввімкнути вимикач; К.3 –вмикає сигнальну лампу.

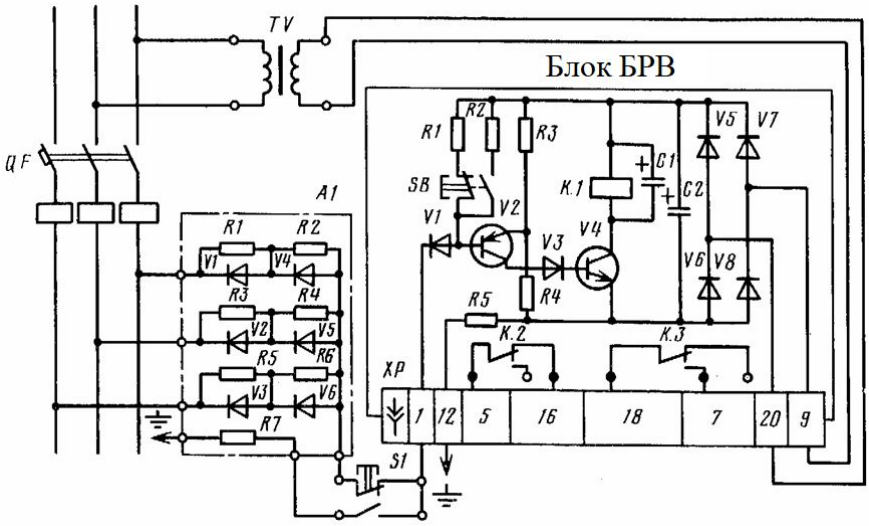



Рис. 9.19. Принципова електрична схема блока БРВ

Крім вище наведених вимикачів, в гірничодобувній промисловості використовують автоматичні вимикачі в рудниковому нормальному виконанні на струми 100, 200 та 320 А (ВРН-100, ВРН-200, ВРН-320), які мають в своєму складі автоматичний вимикач з незалежним розчеплювачем, роз’єднувач, три трансформатори струму в системі струмового захисту типу ПМЗ, трансформатор напруги, блок діодів та сигнальні лампи.

В комплексі електрообладнання системи випереджувального відключення, яке використовується на шахтах з крутим падінням та раптовими викидами метану використовується автоматичний вимикач типу АБВ-250У-5 на номінальний струм 500 А та напруги 380 або 660 В.

Автоматичний вимикач АБВ-250У-5 призначений для пропускання струму при нормальному режимі роботи і вимиканні при коротких замиканнях, замиканнях будь-якої з фаз електромережі на землю або при зниженні параметрів ізоляції мережі нижче допустимого значення, а також для оперативних переключень кіл. Функціональна блок-схема вимикача наведена на рис. 9.20.

Контроль ізоляції мережі виконують: блокувальне реле витоку (БРВ) та загальномережове реле витоку (РВ), пристрій швидкодіючого захисту (ПШЗ) від однофазних замикань на землю, швидкодіючий максимальний захист (БМЗ).

В комплекс пристроїв автоматичного вимикача входять: швидкодіючий пристрій максимального струмового захисту (БМЗ) та захисту мережі від однофазних замикань на землю (ПШЗ); загальномережевий (РВ) та блокувальне реле (БРВ) витоку на землю; пристрій дистанційного відключення (РК-ДВ); вимикач-короткозамикач (FS) з повільно діючим (ГК) приводом; електромагнітний розчеплювач; блок живлення (БЖ); блок реле (БР); блок конденсаторів (БК); роз'єднувач (QS); омметр; фільтр приєднання (ФП); сигнальне табло; кнопки перевірок та деблокування пристроїв захисту і механічного блокування; роз'єднувач вимикача та кришка автоматичного вимикача.

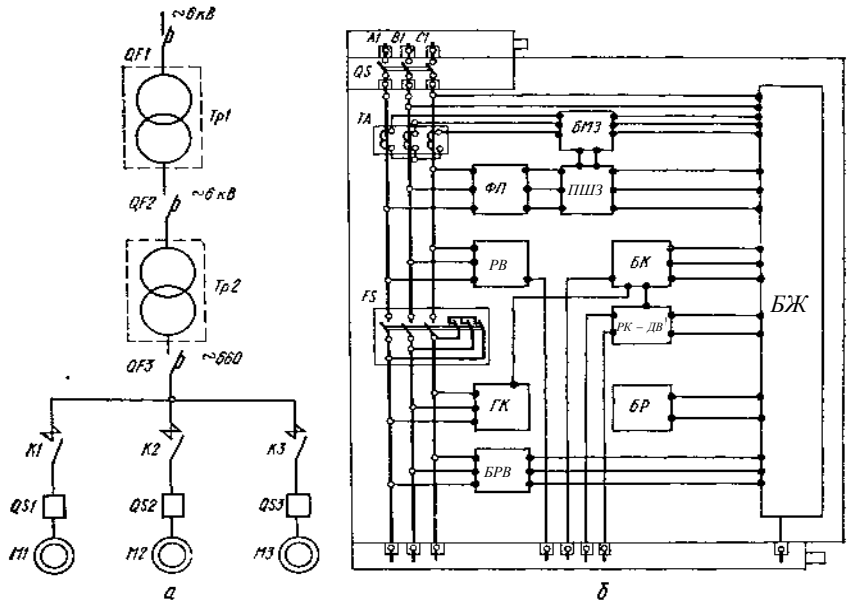



Рис. 9.20. Функціональна схема автоматичного вимикача АБВ-250У-5:
а) система електропостачання з випереджуючим захисним відключенням; б) вимикач АБВ–250У-5 (БЖ, БР, БМЗ – блоки живлення, реле і максимального захисту; ПШЗ – пристрій швидкодіючого захисту; ФП – фільтр приєднання; БРВ, РВ – блокувальне і загальномережеве реле витоку; БК – блок конденсаторів; РК – реле контролю дистанційного відключення; ГК – головний короткозамикач)

## Контрольні запитання

*1. Охарактеризуйте апаратуру ручного керування напругою до 1 кВ (рубильники, вимикачі навантаження, пакетні та універсальні вимикачі, ручні пускачі).*

*2. Що таке контролери та командоконтролери? Їх призначення, типи, принцип дії, елементи конструкції.*

*3. Що таке автоматичні вимикачі, їх призначення, функції, основні елементи конструкції, класифікація?*

*4. Чим відрізняються автоматичні вимикачі у рудниковому виконанні? Наведіть їх основні елементи. Опишіть роботу блоків ДО та БРВ.*

# ЛЕКЦІЯ 10. Апаратура дистанційного керування

10.1. Реле керування.

10.2. Контактори.

10.3. Електромагнітні пускачі в загальнопромисловому виконанні.

10.4. Рудникові магнітні пускачі.

10.5. Пускові агрегати.

## 10.1. Реле керування

Апаратура дистанційного керування дозволяє виконати повну або часткову автоматизацію керування електроприводами гірничих машин, або керування перемиканнями в мережах електропостачання. В залежності від призначення весь комплекс електричних апаратів дистанційного керування можна розділити на три групи:

- електроапарати, що комутують струм в головних (силових) колах (контактори, пускачі та ін.);
- електроапарати, які діють на кола керування комутаційних апаратів (реле);
- електроапарати, за допомогою яких оператор може впливати на кола керування електроапаратів перших двох груп (пости керування і ін.).

Найбільшого поширення в схемах керування набули комутаційні апарати з моторним приводом – це реле, контактори, магнітні пускачі, реверсори, масляні чи електромагнітні вимикачі та ін.

В загальному випадку терміном “реле” називають широкий клас пристроїв, у яких залежність вихідної величини $y$ від вхідної $x$ має вид, показаний на рис. 10.1.

Вхідна та вихідна величини можуть бути різної фізичної природи: наприклад, вхідна величина – тиск рідини, а вихідна – електричний струм (реле

тиску). Всі реле можна розділити на електричні, теплові, механічні, акустичні, пневматичні, фотореле, електронні та ін.

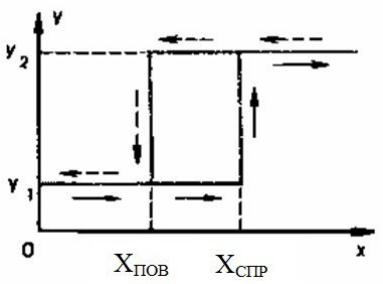



Рис. 10.1. Релейна характеристика

В широко розповсюджених контакторно-релейних схемах керування електроприводами найчастіше використовують електричні реле, зокрема електромеханічні, які в свою чергу можуть бути електромагнітними, магнітоелектричними та індукційними. Переважне використання в схемах керування одержали електромагнітні реле.

За функціональним призначенням в схемах керування електроприводами реле керування можна розділити на три групи: первинні, що безпосередньо сприймають імпульс керування і передають їх на проміжні або виконавчі реле; проміжні реле, які реагують на імпульс первинних і за допомогою своїх контактів передають імпульс на виконавче реле (характерна особливість проміжних реле – велика кількість контактів та їх підвищена потужність); виконавчі реле, що безпосередньо виконують операцію, що відповідає командному імпульсу (ввімкнути, вимкнути, перемкнути і т.д.).

В релейно-контакторних схемах керування електроприводами екскаваторів і іншого гірничого обладнання найбільшого поширення набули реле постійного та змінного струму серії РЕ. Вони, маючи принципово однакову конструкцію, використовуються як реле струму, напруги, проміжні, реле часу в залежності від того, чи виготовляються з котушкою струму (2…1500 А), котушкою напруги (24…500 В), мають магнітний демпфер (кільце з міді на осерді) чи механізм часової затримки.

В апаратурі керування, автоматизації, сигналізації та зв'язку, що використовується на поверхні шахт, та в рудниковій апаратурі використовують різні типи реле (головним чином постійного струму) 6 РКН, РКМ-1, РЕС-6, РЕС-22 та інші. В іскробезпечних схемах дистанційного керування широко використовують реле РП-2Н, не чутливі до змінного струму.

В рудниковій апаратурі керування, автоматизації та сигналізації використовують герконові реле, тобто реле з герметизованими магнітокерованими контактами, що являють собою мініатюрну скляну колбу з впаяними феромагнітними електродами, між якими є певний проміжок (РПГ-1, РПГ-2, РПГ-8, РПГ-9, РНГ, РТГ, РВГ та ін.). При дії зовнішнього магнітного поля виникає зусилля, що наближає електроди і створюється електричний контакт. Таким чином, герконові реле виконують одночасно такі функції: магнітопроводу, контактних пружин та контактів. Зовнішнє поле створюється котушкою зі струмом або постійним магнітом. Переваги таких реле: висока надійність, завдяки ізоляції від зовнішнього середовища, висока комутаційна зносостійкість, високий строк служби, велика швидкодія, низька ціна. Недолік – низька комутаційна здатність.

Бурхливий розвиток напівпровідникової елементної бази явився поштовхом до широкого використання в нових схемах керування електроприводами напівпровідникових засобів керування: транзисторів, мікросхем та керованих діодів.

## 10.2. Контактори

Контактором називають двопозиційний апарат релейної дії з самоповерненням, призначений для дистанційного ввімкнення силового електричного кола за допомогою електромагніта. Він захищає також електродвигуни від повторних самоввімкнень при появі напруги в мережі після її зняття або зниження.

Основними вузлами контактора є: контактна система з засобами дугогасіння, електромагнітна система, система блок-контактів.

За родом струму розрізняють контактори постійного (одно- та двополюсні) та змінного (дво- та триполюсні) струмів. Існує дві конструкції контакторів: з поворотною рухомою системою та важільними контактами, що перекочуються з притиранням контактної поверхні при доторканні; з прямоходовою рухомою системою та містковими контактами.

Особливістю електромагнітної системи змінного струму є те, що струм котушки залежить від положення якоря. При розімкнутому контакторі, коли повітряний проміжок і, відповідно, магнітний опір є великими, індуктивний опір котушки є малим і струм в 10-15 раз перевищує його стале значення при замкнутому контакторі.

Тому при частих пусках котушка може перегріватися. Вона може недопустимо нагріватись також, якщо якір не тісно прилягає до осердя. Для покращання прилягання якоря контакти виконуються з якорем або осердям, що самовстановлюється та амортизоване.

Контакти з міді вимагають великих зусиль натискання, мають низьку температуру плавлення, що зменшує строк їх служби. Крім того, мідні контакти покриваються шаром оксидів з великим перехідним опором. Тому нині широко використовують контакти з металокерамічними матеріалами типу СОК (85% срібла та 15% оксиду кадмію), що має високу тепло- та електропровідність (за рахунок срібла), високу термо- та зносостійкість (за рахунок оксиду кадмію).

В гірничій промисловості знайшли використання контактори поворотного типу – КТ7023У та КТ7123 на 125 А і контактори КТ6043АР та КТ6043БР, а також прямоходові контактори КТУ-2А на 63 А, КТУ-3А та КТУ-3Б на 125 А і КТУ-4А та КТУ-4Б на 250 А. (Літера *А* вказує на використання котушки контактора змінного струму; Б – котушки постійного струму; Р – використовуються металокерамічні контакти).

Починаючи з 1999 року випускаються рудникові електромагнітні контактори КРМ-250 на номінальний струм 250 А, напругою до 1140 В, контактори КРМ-250 Н на напруги 220 та 380 В, а також контактори КТУ-3000 на напругу до 1140 В та КТУ-3000 Н (на напруги 220 та 380 В) з номінальним струмом 125 А. Контактори прямоходові, напруга живлення постійним струмом кіл керування 36 В.

На рис. 10.2, а наведена конструкція контактора КТУ-4А.

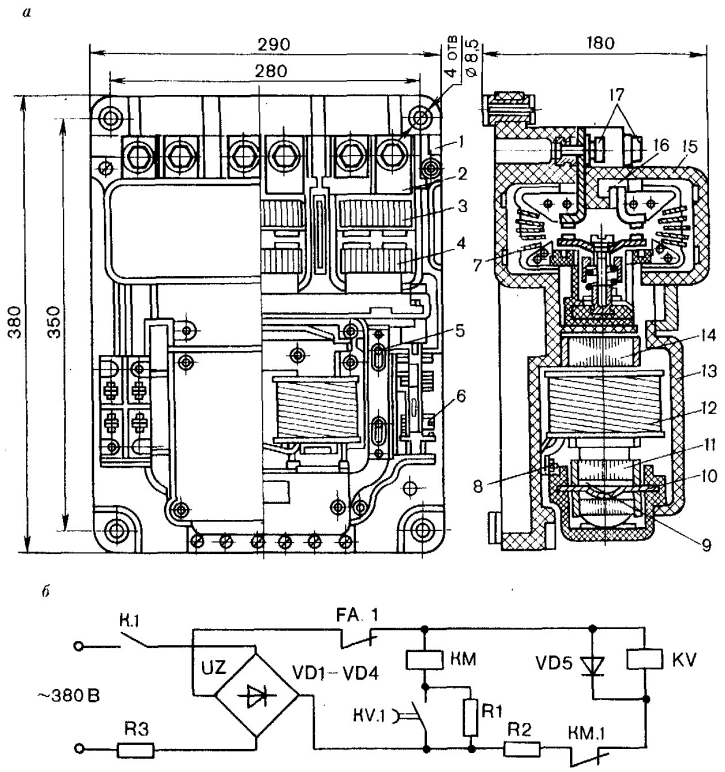



Рис. 10.2. Будова контактора КТУ-4А (а) і схема приєднання контактора КТУ-4Б (б). Цифрами позначено: 1 – основа; 2 – нерухомі контакти; 3 – дугогасні роги; 4 – рухомі містки; 5 – рухома система; 6 – допоміжні контакти; 7 – дугогасна камера; 8 – гвинти; 9 – текстолітова підкладка; 10 –вісь; 11 – якір; 12 – котушка вмикання; 13 – кришка 14 – осердя; 15 – кришка дугогасної камери; 16 – пластмасова колодка; 17 – болти

У контакторі КТУ-4А (рис. 10.2, а) базовою деталлю, на якій збираються усі його вузли і деталі, є основа 1. В комірках основи розташовуються рухома система 5, осердя 14 із котушками вмикання 12, що закривається кришкою 13.

Контактна система складається з нерухомих контактів 2 із дугогасними рогами 3, закріплених на пластмасовій колодці 16, і рухомих містків з

дугогасними рогами 4, встановлених на траверсі рухомої системи (по два містки на кожний полюс). Електрична дуга, що виникає при вимкненні електродвигуна (або іншого навантаження), виштовхується електродинамічними зусиллями на дугогасні роги, втягується в деіонну решітку дугогасних камер 7 і там згасає. Дугогасні камери (по дві на кожний полюс) розташовуються в комірках основи і кришці 15 дугогасних камер, яка кріпиться до основи гвинтами.

Якір 11 електромагніта закріплений у траверсі рухомої системи. Спеціальна форма осі 10 якоря і конструкція підвіски забезпечують самовстановлення якоря. Повітряний проміжок між якорем і полюсами осердя регулюють установкою текстолітових підкладок 9 під вісь якоря.

Контактор має замикаючі і розмикаючі допоміжні контакти 6.

Живлення котушки контактора постійним струмом забезпечує сталу роботу контактора при значних коливаннях напруги в мережі при вимкненні потужних двигунів.

В контакторі КТУ-4Б (рис. 10.2, б) для цього встановлено мостовий випрямляч UZ. При замиканні контакту K.1 проміжного реле керування замикається коло котушок увімкнення КМ контактора через резистор R1. Струм, що проходить по котушках, недостатній для притягування якоря. Але одночасно замикається коло живлення реле напруги KV через розмикаючий допоміжний контакт КМ.1 контактора і резистор R2. Реле KV спрацьовує і своїм контактом KV.1 шунтує резистор R1. Струм у котушці контактора КМ при цьому збільшується, і контактор вмикається. На початку переміщення рухомої системи контактора його контакт КМ.1 у колі котушки реле KV розмикається. Якщо реле відключиться миттєво, то його контакт KV.1 дешунтує резистор R1 раніше, ніж магнітна система контактора замкнеться повністю. При цьому струм у котушках контактора зменшиться, і якір почне відпадати, в результаті чого замкнеться контакт КМ.1, увімкнеться реле KV, замкнеться контакт KV.1, струм у котушках контактора зросте, і якір знову почне притягатися, розмикаючи контакт КМ.1, і т.д. Таким чином, контактор буде включатися з так званим "кулеметним

ефектом", при якому струм у котушках перевищує номінальний, у результаті чого вони швидко можуть вийти з ладу. Щоб уникнути цього явища, котушку реле KV шунтують діодом VD5. Цей струм створює невелику затримку на відключення реле KV, під час якої якір контактора встигає дійти до кінцевого положення і замкнути магнітне коло. Резистор R3 використовується для обмеження струму при короткому замиканні у випрямлячі.

Комутаційна здатність контакторів, їх строк служби, номінальний струм залежать від режиму роботи, ці показники знижуються в порівняно з сталим режимом. Тому стандартними для контакторів шахтної апаратури номінальні параметри (зносостійкість, струм увімкнення та вимкнення, максимальна потужність електродвигуна) нормуються для категорій використання АС-3 та АС-4.

В категорії АС-3 передбачається ввімкнення короткозамкнутого асинхронного двигуна з струмом $6 \cdot I_{н}$ при номінальній напрузі і коефіцієнті потужності $\cos\varphi = 0{,}35 \pm 0{,}05$ та вимкнення електродвигуна, що обертається, з номінальним струмом при відносному ПВ=40%.

На відміну від категорії АС-3, в категорії використання АС-4 передбачається ввімкнення або вимкнення нерухомого електродвигуна або електродвигуна, що повільно обертається, та його реверсування з струмом $6 \cdot I_{н}$ при відносному $ПВ_{\%}$=25%.

При розробці комплексу електрообладнання на номінальну напругу 1140 В постала задача підвищення комутаційної здатності контакторів, які при тих самих значеннях струмів повинні працювати при підвищеній напрузі. Було розглянуто ряд можливостей вирішення цієї задачі.

Повністю виключити появу дуги дозволяє пристрій бездугової комутації, контактний вузол одного полюса якого наведено на рисунку 10.3.

Контактний вузол складається із трьох контактів: основного КМ.1М та двох дугогасних КМ.1А та КМ.2А, які не мають жорсткого зв’язку між собою і з основним контактом КМ.1М; вони під дією повертаючих пружин відключаються

неодночасно. Послідовно з дугогасними контактами включені діоди VD1 та VD2 і синхронізуючі електромагніти УА1Т, УА2Т, які при проходженні струму через них втримують увімкненими відповідно контакти КМ.1А та КМ.2А. При увімкненому контакторі всі його контакти є замкнутими. Коли котушка контактора КМ вимикається, його основний контакт КМ.1М, жорстко зв'язаний з рухомою системою контактора, розмикається, а обидва дугогасні контакти звільнюються від механічної вмикаючої дії. Якщо в момент вимкнення напрям струм співпадає з проводячим напрямком діода, наприклад VD1, контакт КМ.1А утримується електромагнітом УА1Т в замкнутому стані, а контакт КМ.2А розмикається (струм в VD2 і в котушці УА2Т відсутні), тобто весь струм навантаження проходить через контакт КМ.1А та діод VD1. Коли струм переходить через нуль, електромагніт УА1Т відпускає контакт КМ.1А і той розмикається також при відсутності в ньому струму. Таким чином, розмикання контактів КМ.1А та КМ.2А відбувається за відсутності в них струму і, як наслідок, без дуги.

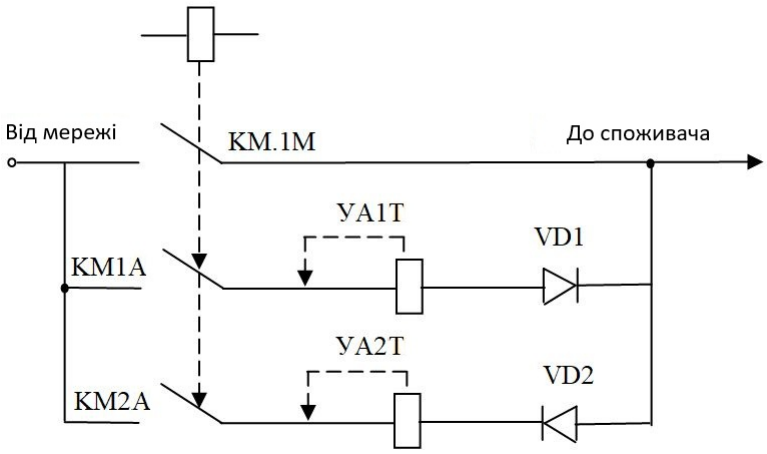



Рис 10.3. Схема бездугового контактного пристрою

Цей спосіб підвищення комутаційної здатності є досить ефективним, але значно ускладнюється конструкція контактора. Тому в контакторах напругою 1140 В практичну реалізацію одержав спосіб часткового шунтування дугового проміжку напівпровідниковим діодом (рис. 10.4), в результаті чого зменшується енергія електричної дуги відключення.

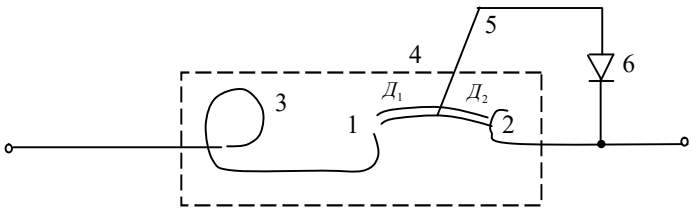


Рис 10.4. Схема шунтування дуги діодом

В момент розмикання контактів 1 та 2 виникає дуга, яка під дією котушки електромагнітного дуття 3 переміщується на ріг 5, розміщений в щілинній камері 4. Дуга ділиться на дві частини Д1 та Д2. Якщо напрям струму співпадає з проводячим напрямом діода 6, частина дуги шунтується ним і канал дуги Д2 деіонізується. При зміні напряму струму, він стає протилежний проводячому напрямку діоду, дуга Д1 також згасає.

Підвищення комутаційної здатності може бути досягнуто також розміщенням контактів в вакуумі. Гасіння дуги при цьому проходить в вакуумних дугогасних камерах при першому переході струму через “нуль” без звукового та світлового ефекту. Вакуумні контактори мають менші габарити та масу, їх комутаційна здатність в декілька раз вища ніж повітряних, вони мають високу швидкодію (5…10 мс), захищені від дії зовнішнього середовища, мають високу вібростійкість, безшумні в роботі, мають невелику потужність керування. Недоліком їх є висока ціна та можливість появи перенапруг.

Були розроблені контактори серії КТ12 на напругу 1140 В з вакуумними камерами для встановлення в вибухонепроникні оболонки рудникового електрообладнання: КТ12Р-33 на струм 160 А та КТ12Р-37 на струм 400 А.

## 10.3. Електромагнітні пускачі в загальнопромисловому виконанні

Магнітним пускачем називають комплектний апарат, призначений для дистанційного пуску, зупинки і захисту (за наявності пристрою захисту) трифазних асинхронних електродвигунів із короткозамкнутим ротором. Пускачі класифікують за призначенням:

- нереверсивні – для керування електродвигунами при незмінному напрямку обертання, реверсивні – при змінних напрямках обертання;

- за ступенем захисту – IP00, IP30, IP40, IP54;

- за наявністю пристрою захисту електродвигуна: без пристрою захисту, з електротепловим струмовим реле, з пристроєм температурного (позисторного) захисту;

- за видом блокування в реверсивних пускачах: з електричним блокуванням, з електричним і механічним блокуванням;

- за наявністю вбудованих в оболонку пускача елементів керування: без кнопок керування, з кнопками керування, з кнопками керування і сигнальними лампами;

- за номінальною напругою головного кола – 380 і 660 В і за напругою кола керування – від 24 до 660 В;

- за номінальним струмом для ступеню захисту IP00 – 4, 6,3, 10, 25, 40, 63, 80, 100, 125, 160, 200 і 250 А;

- за рядом допоміжних особливостей.

За впливом кліматичних факторів зовнішнього середовища пускачі випускають у виконаннях: УХЛ, О, У, ХЛ, Т для категорій розміщення 2, 3, а для категорії розміщення 4 у виконанні УХЛ і О.

В даний час на поверхні гірничих підприємств застосовують пускачі серій ПМЕ, ПМА, ПАЕ, ПМЛ.

Пускачі ПМЕ випускають трьох серій: ПМЕ-000, ПМЕ-100 і ПМЕ-200, що при напрузі 380 В розраховані відповідно на номінальні струми 3, 10 і 25 А і найбільшу потужність приєднаного електродвигуна від 1,1 до 10 кВт.

Пускачі ПМЕ мають нереверсивне і реверсивне виконання і випускаються як із електротепловим захистом, так і без нього. Конструкція являє собою Ш-подібне осердя, на якому розташована контакторна котушка, і прямоходову рухому систему з якорем і контактами. Для захисту використовують теплові реле ТРН-25 (ПМЕ-200).

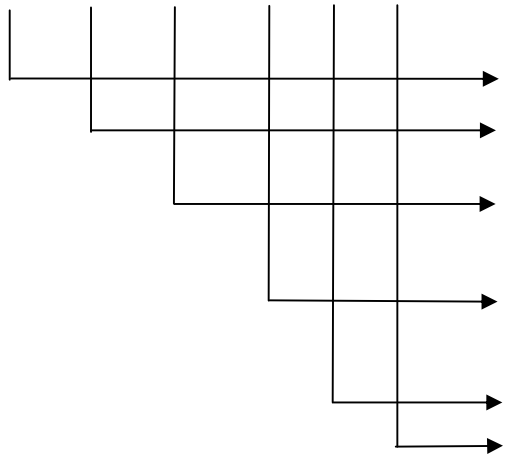
Пускачі серії ПМА (ПМА-300, 400, 500, 600) випускають на номінальні струми відповідно 40, 63, 100 і 160 А при напругах від 220 до 660 В. Найбільша потужність приєднаного електродвигуна при напрузі 660 В дорівнює відповідно 22, 30, 50 і 75 кВт. На відміну від ПМЕ, ці пускачі мають кнопки «Пуск» і «Стоп», сигнальні лампи (можуть випускатися без кнопок і ламп), допоміжні контакти. При змінному струмі в колі керування і напрузі 660 В пускачі мають чотири замикаючих і два розмикаючих допоміжних контакти. Пускачі мають поворотну магнітну систему з містковою контактною системою.

Пускачі серії ПАЕ (ПАЕ-300, 400, 500, 600) розраховані на струми, аналогічні струмам пускачів серії ПМА, і напругою до 500 В. При напрузі 380 В найбільша потужність приєднаних електродвигунів складає відповідно 18,5; 30; 45 і 75 кВт. Пускачі ПАЕ мають рухому частину поворотного типу. Для захисту теплові реле ТРН-40, ТРП-60, ТРП-150, ТРП-160 використовують відповідно в пускачах з номінальним струмом 5, 18, 30, 45, 75 А.

Пускачі серій ПМЕ і ПМА вбудовують в оболонки шахтних магнітних пускачів ПВИ-32 і пускачів серії ПРН.

Більш досконалими є пускачі типу ПМЛ, які мають наступну структуру позначення:

ПМЛ 0 0 0 0 00



ТИП ПУСКАЧА;

ВЕЛИЧИНА ЗА СТРУМОМ (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ВІДПОВІДАЄ 10, 25, 40, 63, 80, 125, 200 А);

ВИКОНАННЯ (1 – НЕРЕВЕРСИВНИЙ БЕЗ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ; 2 – НЕРЕВЕРСИВНИЙ З ТЕПЛОВИМ РЕЛЕ; 5 – РЕВЕРСИВНИЙ БЕЗ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ; 6 – РЕВЕРСИВНИЙ З ТЕПЛОВИМ РЕЛЕ; 7 – ПУСКАЧ ДЛЯ ПЕРЕМИКАННЯ З ЗІРКИ НА ТРИКУТНИК);

ВИКОНАННЯ ЗА СТУПЕНЕМ ЗАХИСТУ ТА НАЯВНОСТІ КНОПОК ТА СИГНАЛЬНОЇ ЛАМПИ (0 – IP00, БЕЗ КНОПОК, 1– IP54, БЕЗ КНОПОК, 2 – IP54, КНОПКИ “ПУСК”, “СТОП”, 3 – IP54, КНОПКИ “ПУСК”, “СТОП”, СИГНАЛЬНА ЛАМПА);

КІЛЬКІСТЬ КОНТАКТІВ ДОПОМІЖНИХ КІЛ;

КЛІМАТИЧНЕ ВИКОНАННЯ (О, ТВ) ТА КАТЕГОРІЯ РОЗМІЩЕННЯ (2,4).

Принципова схема реверсивного пускача наведена на рис. 10.5.

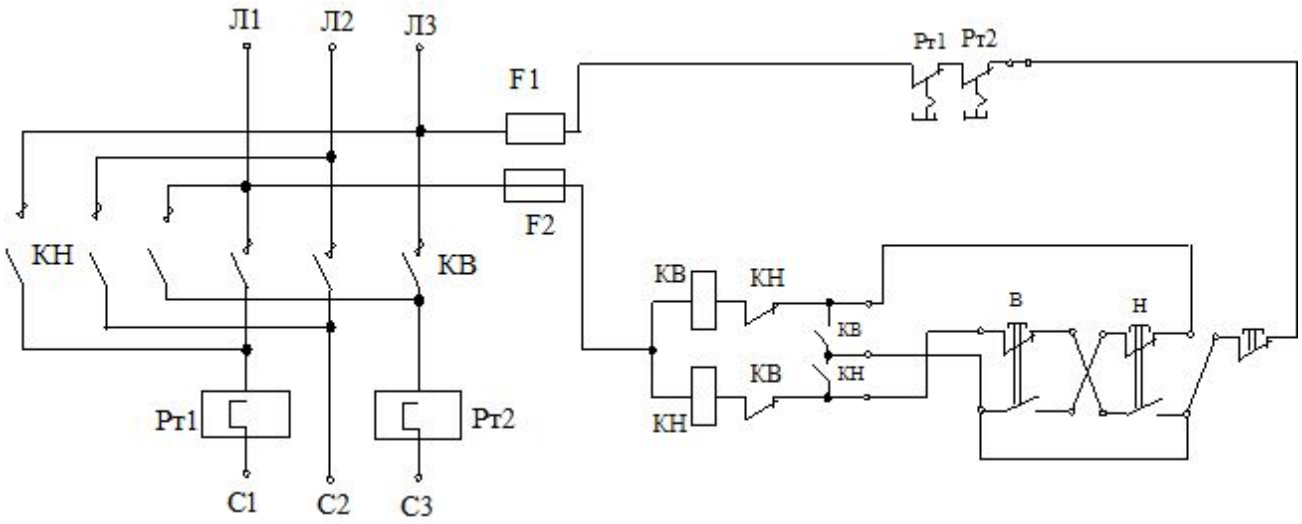



Рис. 10.5. Принципова схема реверсивного пускача

## 10.4. Рудникові магнітні пускачі

На відміну від загальнопромислових пускачів, рудникові магнітні пускачі повинні відповідати цілому ряду додаткових вимог, які зводяться до забезпечення безпеки їх експлуатації (пожежо- та вибухобезпеки, електробезпеки), високої надійності та зручності експлуатації. Надійність та зручність експлуатації пускача визначається комплексом властивостей конструктивного та схемного виконання, надійністю використаних елементів, властивостями матеріалів, гнучкістю використання в різноманітних умовах, зручністю транспортування, монтажу, демонтажу, ремонту. Умови експлуатації пускачів в підземних виробках вимагають відповідного використання з підвищеною міцністю оболонок, мінімальних ваги та габаритів, пило-вологозахисного та антикорозійного виконання.

Найбільш важливими вимогами до конструкції можна назвати:

1. Забезпечення високої механічної та електричної зносостійкості контакторів, необхідність якої вимагають повторно-короткочасні режими роботи споживачів, їх часті та тяжкі пуски та зупинки. Механічне зношування магнітної системи вузлів з тертям контактів відбувається внаслідок ударів та вібрації при частих увімкненнях. Підвищення механічної зносостійкості досягається

амортизацією всіх елементів, які піддаються ударам, використанням елементів, що самовстановлюються та ін. Електричне зношування визначається спрацюванням контактів під дією дуги, як під час увімкнення (струм $6I_н$), так і при вимиканні. Зниження електричного зношування досягається покращенням кінематики рухомої частини якоря, зменшенням швидкості та збільшенням притиснення контактів, полегшенням контактних мостиків, виконанням їх з самовстановленням.

2. Стійкість проти вібрації. При недостатній продуманості конструкції, неправильному монтажу, в результаті силових ударів при ввімкненні та вимкненні контактора можливі спрацювання реле, порушення кріплення елементів, пошкодження ізоляції.

3. Нахилостійкість, виключає самовільне ввімкнення контактора при похилому положенні пускача. Це досягається використанням відповідних пружин, але це в свою чергу вимагає підвищення потужності котушки контактора. Контактори поворотного типу шахтних пускачів дозволяють нахил до 15°, а прямоходового типу – до 30°.

4. Швидкоз’ємність кришки пускача та окремих елементів, важливо при аварійних режимах для швидкого огляду та ремонту.

5. Блочність конструкції та широке використання штепсельних приєднань блоків дозволяє значно зменшити простої машини та обладнання при виході з ладу окремих елементів чи блоків пускача, за рахунок їх швидкої заміни.

6. Можливість з’єднання пускачів між собою та формування розподільчого пункту необхідної в конкретних випадках конфігурації, забезпечується завдяки наявності транзитного вводу пускача (2 вводи) та одного виводу. Крім цього рудникові пускачі мають додаткові вводи для контрольних, сигнальних кабелів та кабелів блокування пускачів між собою.

7. Універсальність арматури вводів дозволяє введення як броньованих, так і гнучких кабелів.

8. Використання роз’єднувача на вході пускача (реверсивного в нереверсивних пускача та нереверсивного – в реверсивних) дозволяє забезпечити зняття напруги з камери контактора при відкриванні кришки (блокування роз’єднувача з кришкою) та полегшує монтаж кабелю за рахунок можливості реверсування двигуна без зміни схеми приєднання кабелю до двигуна.

9. Використання комплексу конструктивних заходів, що забезпечують безпеку експлуатації пускача (вибухозахист оболонки, камери вводів, розділення камер з іскрячими та неіскрячими елементами, блокування відкриття кришки під напругою, болтові з’єднання під спеціальний ключ та інші).

Поряд з основними функціями керування електричні схеми рудникових пускачів повинні забезпечувати надійний захист обладнання, обслуговуючого персоналу та зовнішнього середовища.

Схеми рудникових пускачів в більшості випадків можна розділити на наступні основні кола: силове коло; кола захисту; кола керування; кола взаємного блокування послідовності ввімкнень пускачів; джерела живлення кіл захисту та керування.

Схеми сучасних рудникових пускачів забезпечують виконання наступних основних функцій:

- пуск та зупинку електродвигуна дистанційно з поста керування, встановленого на машині або винесеного поста керування;
- реверсування двигуна при налагоджувальних роботах;
- захист від перевантажень та від струмів КЗ у кабелі, що відходить від пускача;
- захист від втрати керування при замиканні в жилах керування чи їх обриві;
- захист від обриву кола заземлення машини або збільшення його опору більш як 100 Ом;
- нульовий захист;
- захист від самовільних ввімкнень при підвищенні напруги до 150 % $u_н$;
- обмеження кількості пусків;

- приєднання до схеми температурного захисту;

- контроль стану ізоляції приєднання, що відходить від пускача, та блокування ввімкнення пускача при зниженні опору ізоляції нижче допустимого значення (БРВ);

- перевірка справності схеми керування, кола котушки контактора, блокувального реле витоку та максимального захисту і інших.

До сучасних відносяться пускачі у виконанні РВ-ЗВ-И з іскробезпечними колами керування серій ПВИ (нереверсивні), ПВИР та ПВИ-00МР (реверсивні), ПВ (на 1140 В), ПРН (нормального виконання), ПВВ (з вакуумними контакторами). Основне їхнє призначення – робота в трифазних електричних мережах змінного струму з ізольованою нейтраллю трансформатора, дистанційне керування і захист асинхронних електродвигунів із короткозамкнутим ротором. Основні параметри установки й експлуатації: температура навколишнього повітря від -5 (-35) до +35 °С; відносна вологість повітря до 98 (100%) при температурі до +35 °С; наявність вугільного пилу в навколишній атмосфері до 1000 (1200) мг/м; відсутність різких поштовхів (ударів) і сильних вібрацій; висота над рівнем моря не більш 1000 м; робоче горизонтальне положення (з допуском нахилу до 15 (30°)) у будь-якому напрямку.

У конструктивному виконанні шахтні пускачі мало чим відрізняються один від одного, але все ж відмінності, про які буде сказано нижче, є. Кожний тип пускача (крім ПРН) має чотири вибухонепроникні оболонки: мережеву, виводів, контакторну і роз'єднувача. Мережеве відділення призначене для вводу, транзитного виводу з приєднанням до пускачів силового броньованого або гнучкого кабелів. Відділення виводів служить для приєднання до струмоприймача гнучкого кабеля силового кола і гнучких кабелів для контролю кіл керування, сигналізації.

Нині із нереверсивних пускачів найбільш поширені пускачі з іскробезпечними колами керування серії ПВИ. Позначення пускачів

розшифровується в такий спосіб: П – пускач; В – вибухобезпечний; И – з іскробезпечними колами керування.

Майже у всіх пускачах застосовані уніфіковані вузли: пристрої максимального струмового захисту типів УМЗ або ПМЗ і блок керування БУ, що містить блокувальне реле витоку БРВ з уставками спрацьовування при напрузі 380 В – 18 кОм і при 660 В – 30 кОм, або блоки БДУ та БКИ.

Пускачі ПВИ-25Б, ПВИ-63Б і ПВИ-125Б (рис. 10.6) мають зварний корпус, що складається з чотирьох відділень, розділених вибухонепроникними перегородками. Мережове відділення I призначено для введення і приєднання живлячого і транзитного кабелів. Відділення виводів II призначено для введення кабелю електроприймача і кабелів контрольних кіл. У відділенні роз'єднувача III розміщені блокувальний реверсуючий роз'єднувач 7 і трансформатор струму 9 максимального струмового захисту УМЗ. В контакторному відділенні IV розташований контакторний блок 11 з апаратурою керування, захисту і сигналізації.

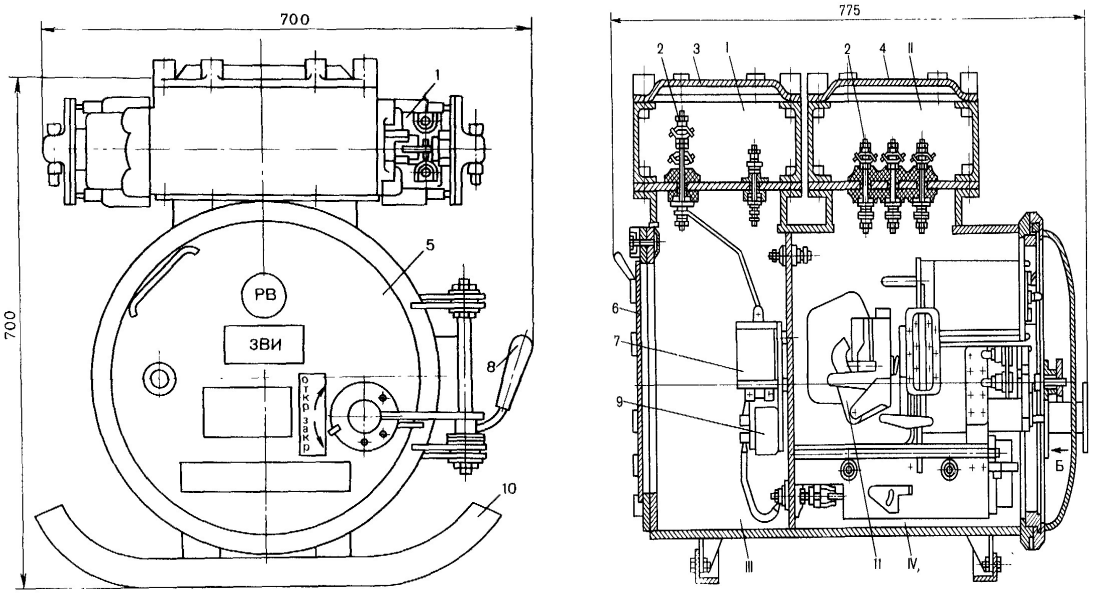



Рис. 10.6. Пускачі ПВИ-25Б, ПВИ-63Б і ПВИ-125Б:

1 – силовий кабельний ввід; 2 – прохідний затискач; 3, 4, 6 – кришки відповідно мережевого відділення I, відділення виводів II і відділення роз'єднувача III, 5 – кришка контакторного відділення IV, що швидко відкривається; 7 – роз'єднувач; 8 – ручка приводу роз'єднувача; 9 – трансформатор струму; 10 – салазки; 11– контакторний блок

Пускачі ПВИ-25Б, ПВИ-63Б і ПВИ-125Б забезпечують наступні види керування: дистанційне за допомогою винесених кнопок (встановлених окремо або на робочій машині); дистанційне автоматичне від замикаючого контакту іншого пускача або якогось датчика; місцеве вимкнення кнопкою "Стоп" на пускачі.

Встановлена в пускачах апаратура забезпечує також: захист від струмів КЗ в силових колах, що відходять від пускача, і сигналізацію про спрацьовування захисту; захист від втрати керованості при обриві або замиканні проводів дистанційного керування між собою і з заземлюючою жилою; захист на вимкнення від обриву або збільшення опору кола заземлення понад 100 Ом; нульовий захист; перевірку справності кола котушки контактора.

Котушка вмикання контактора отримує живлення через контакт проміжного реле, приєднаного безпосередньо до затискачів іскробезпечної вторинної обмотки понижуючого трансформатора. В схемі на рис. 10.7 це реле К4, приєднане до обмотки II трансформатора Т2. По котушці реле проходить змінний струм, але опір її змінному струму настільки великий, що струм недостатній для вмикання реле. Щоб реле можна було ввімкнути, паралельно котушці реле і, отже, вторинній обмотці трансформатора, приєднують через контакт апарата керування (наприклад, кнопки) напівпровідниковий діод. Протягом одного півперіоду струму обмотки II, коли напрямок струму збігається з провідним напрямком діода, обмотка II трансформатора замкнута практично накоротко (опір діода в провідному напрямку незначний) і струм по котушці реле не проходить. Протягом наступного півперіоду струм обмотки II піде тільки по котушці реле, тому що через зустрічно включений діод він йти не може. В результаті котушка реле буде обтікатися однопівперіодним випрямленим струмом, і реле спрацює.

**Дистанційне керування з кнопкового поста на робочій машині**. При цьому виді керування між прохідними затискачами 0 і 3 встановлюють перемичку (показана штриховою лінією). Натисканням на кнопку "Пуск" винесеного поста утвориться коло, що замикає обмотку II трансформатора Т2 через діод V у

кнопковому пості: верхній затискач обмотки II, розмикаючий контакт К1.1, кнопка SB3 ("Стоп"), прохідний затискач 1 у відділенні контрольних виводів, жила керування I силового кабелю, кнопки "Пуск" і "Стоп", діод V, заземлююча жила 0 силового кабелю, прохідний затискач 0, перемичка 0-3 на прохідних затискачах, розмикаючий контакт кнопки SB4 ("Перевірка схеми"), нижній затискач обмотки II. В результаті котушка реле буде обтікатися випрямленим струмом, реле К4 спрацює і контактом К4.1 замкне коло котушки контактора КМ, який головними контактами КМ.1 подасть живлення на електродвигун і перемкне допоміжні контакти в колах керування. Так, контакт КМ.6 через резистор R зашунтує кнопку "Пуск", тому при її відпусканні коло керування залишиться замкнутим.

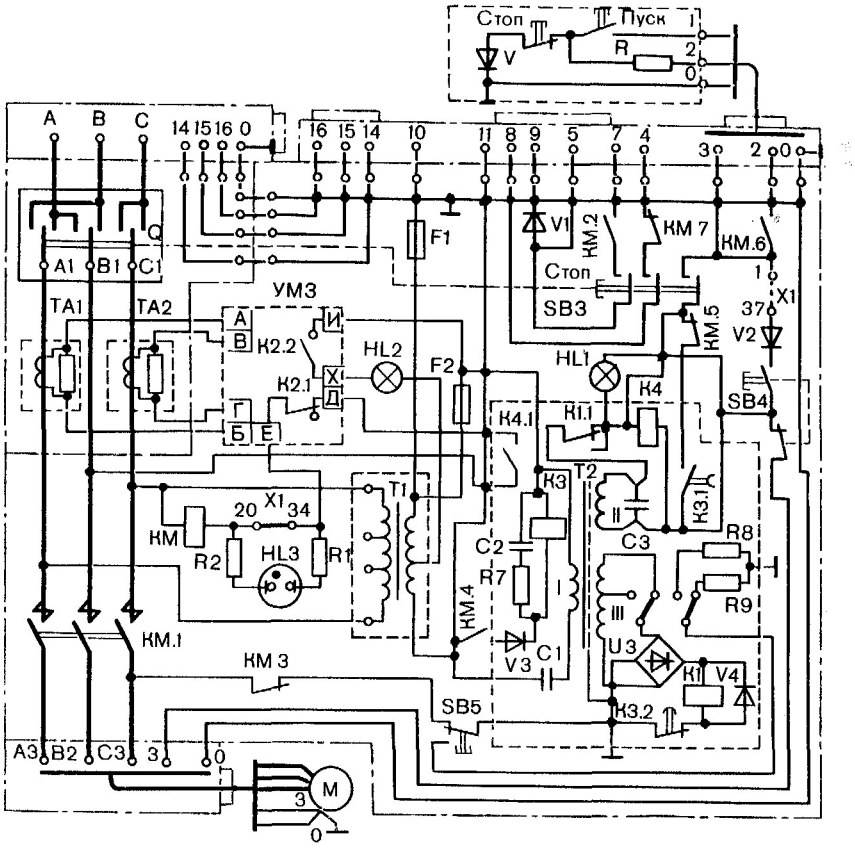



Рис. 10.7. Принципова електрична схема пускачів ПВИ-25Б, ПВИ-63Б, ПВИ-125Б: I – мережеве відділення; II – відділення роз'єднувача; III – відділення апаратури; IV – відділення виводів

**Дистанційне керування з окремого кнопкового поста**. При цьому виді керування перемичку 0-3 в пускачі знімають і встановлюють перемичку в електродвигуні М між жилами 0 і 3. В результаті описане вище коло буде містити додатково жили 0 і 3 силового кабелю до електродвигуна. У такий спосіб коло керування контролює цілісність заземлюючої жили.

При спрацьовуванні максимального захисту (пристрій УМЗ) контакт К2.1 вимикає контактор, а контакт К2.2 вмикає сигнальну лампу HL2.

Справність кола котушки контактора (без його вмикання і подачі напруги на електродвигун) перевіряють у такий спосіб. Перемичку Х1 із затискачів 20 і 34 у колі котушки контактора знімають і встановлюють на затискачі 1 і 37, після чого натискають кнопку SB4 ("Перевірка схеми"). В результаті обмотка II трансформатора Т2 і котушка реле К4 виявляються зашунтованими діодом V2 протягом одного півперіода по колу: верхній вивід обмотки II, розмикаючий контакт К1.1, кнопка SB3, перемичка Х1 (1-3, 7), діод V2, кнопка SB4, нижній вивід обмотки II. Реле К4 спрацьовує і замикає контакт К4.1 у колі котушки контактора КМ. При знятій з затискачів 20 і 34 перемичці послідовно з котушкою контактора виявляються приєднаними резистори R1, R2 і неонова сигнальна лампа HL3. При справному колі струм у котушці контактора буде недостатній для його спрацьовування, а загоряння лампи HL3 покаже, що коло справне.

Блокувальне реле витоку (БРУ) змонтовано в блоці керування БУ. Для контролю роботи БРУ натискають кнопку SB5 ("Перевірка БРУ"), вводячи в коло реле К1 замість опору ізоляції перевірочний резистор R8 (при 380 В) або R9 (при 660 В).

В процесі експлуатації при повторному вмиканні електродвигуна, що ще не встиг зупинитися, під дією його ЕРС можуть відбуватися помилкові спрацьовування захисту від витоків (БРУ). Щоб уникнути цього, в пускачі встановлено реле часу, що складається з електромагнітного реле К3, електролітичного конденсатора С2, резистора R7 і діода V3. Коли контактор КМ вмикається, його допоміжний контакт КМ.4 замикає коло живлення реле К3, і

воно спрацьовує без витримки часу, замикаючи контакт К3.1 у колі шунтування реле К4 і розмикаючи контакт К3.2 у колі реле К1 (БРУ). При вимиканні контактора його контакт КМ.4 у колі реле часу розмикається, по котушці реле К3 буде проходити струм розрядки конденсатора С2, тому повернення реле К3 у вихідний стан відбудеться через 2-3 с (час розрядки конденсатора). Протягом цього часу контактор не може бути ввімкнений, тому що котушка проміжного реле К4 зашунтована контактами КМ.5 і К3.1. Після закінчення зазначеної витримки часу контакт К3.1 розмикається, а К3.2 у колі контролю опору ізоляції замикається.

Електричні схеми інших пускачів серії ПВИ (крім ПВИ-32), а також ПМВИ-13А і ПМВИ-23А аналогічні.

Пускач ПВИ-32 значно відрізняється від інших пускачів серії ПВИ. Максимальний струмовий захист у цьому пускачі здійснюється аварійним автоматичним вимикачем F1 (рис. 10.8, а) типу Е2046-300 з номінальним струмом 32 А і струмом відсічки (відключення) $I_{отс} = 12I_{ном} = 384$ А. В якості контакторів використані два електромагнітних пускачі К1 і К2 типу ПМА-3102 (без оболонки і пристроїв захисту) з номінальним струмом 40 А и напругою котушки вмикання 36 В. В фази А та С (за схемою) послідовно приєднані по два головних контакти пускачів, а треті їхні контакти також послідовно приєднані в середню фазу. Таким чином, утворюється подвійний розрив головного кола. В пускачі ПВИ-32 замість блокувального реле витоку БРУ застосований блок контролю ізоляції А2 типу БКІ (аналогічно в автоматичному вимикачі АВ-400ДО) і введено новий блок А1 типу БДК – керування і контролю. Схема блока БДК показана на рис. 10.8, б.

Пускач ПВИ-32 забезпечує:

- захист від струмів КЗ силових кіл, що відходять від пускача, автоматичним вимикачем із нерегульованою уставкою і сигналізацію про спрацьовування захисту (сигнальна лампа з червоним світлофільтром);

- захист від втрати керованості при обриві або замиканні проводів дистанційного керування між собою;

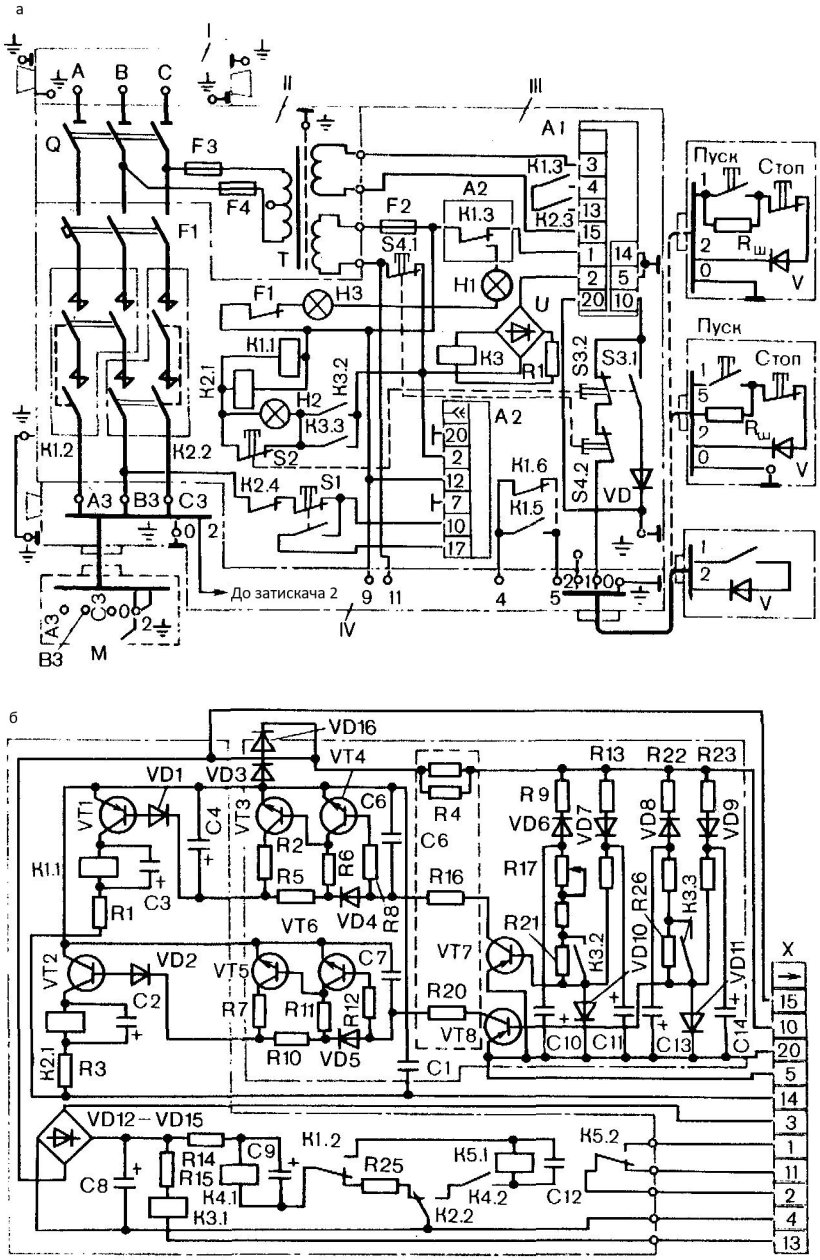



Рис. 10.8. Принципова електрична схема: а – пускача ПВИ-32; б – блока БДК. Цифрами позначено: I – мережеве відділення; II – відділення роз'єднувача; III – відділення апаратури; IV – відділення виводів

- захист при обриві або збільшенні опору заземлюючого кола, до значення, що перевищує 100 Ом;

- захист від перевантаження;

- нульовий захист;

- захист від самовільного ввімкнення пускача при підвищенні напруги живлячої мережі до 150 % номінального;

- електричне блокування, що перешкоджає вмиканню пускача при зниженні опору ізоляції нижче 30 кОм в ділянці мережі, що відходить від пускача, і сигналізацію про спрацьовування блокування (сигнальна лампа з білим світлофільтром);

- перевірку справності електричного блокування від витоку струму на землю.

Дистанційне керування пускачем здійснюється за допомогою блоку БДК, який складається з двох вимірювальних схем, які мають у своєму складі схеми порівняння струмів, підсилювачі і вихідні реле. Контакти вихідних реле ввімкнені в логічну схему, яка здійснює керування проміжним реле К3.1. Вхідне коло являє собою схему порівняння струмів і містить резистори R9, R17, R18, R21, R13, R10, конденсатори C10, C11 та діоди VD6, VD7, VD10. Порівняння струмів здійснюється на базі транзистора VT7 (VT8), навантаженням якого є резистор R16 (R20). У коло навантаження ввімкнено схему часової затримки сигналу керування, яка складається з транзисторів VT3, VT1, (VT5, VT2), резисторів R2, R5, R6, R8 (R7, R10, R11, R12), конденсаторів C4, C6 (C5, C7), діода VD4 (VD5) та стабілітрона VD1 (VD2).

До вхідного кола схеми порівняння струмів і до контактів 10 і 20 приєднано пост дистанційного керування. При вмиканні роз'єднувача Q на блок А (БДК) надходить напруга 18 В. При цьому в позитивний півперіод струм від джерела прямує по двох паралельних колах: R13 – VD7 – R19 – VD10 і кнопковим постом. У негативний півперіод струм протікає по колу VT7 – R21 – R18 – R17 – VD6 – R9. На базі транзистора VT7 відбувається порівняння струмів.

При розімкненій кнопці "Пуск" транзистори VT7 і VT1 відкриті через реле К1 струм не тече. При замиканні кнопки "Пуск" шунтується коло R13 – VD7 – R19 – VD10, що призводить до переваги струму в колі колу VT7 – R21 – R18 – R17 -– VD6 – R9. В результаті відкриваються транзистори VT7, VT1 і спрацьовує

реле К1. При збільшенні опору в колі дистанційного керування струм у колі R13 – VD7 – R19 – VD10 збільшується, що призводить до закривання транзисторів VT7, VT1 і вимкнення реле К1. В разі замикання проводів дистанційного керування між собою шунтуються обидва кола, що призводить до закривання VT7, VT1 і вимкнення реле К1.

Схема часової затримки використовується для часової затримки компенсації фазового зсуву між напругою живлення реле К1, струмом керування в базовому колі транзистора Т1 і стійкої роботи при перехідних процесах у колах керування.

Контакти вихідних реле двох вимірювальних схем увімкнені в логічну схему таким чином, що в разі подавання напруги на схему вмикається реле К4 і замикається контакт К4.2 у колі реле К5. За наявності керуючого сигналу в колі дистанційного керування контакти К1.2 і К2.2 перемикаються. При цьому реле К4 залишається ввімкненим, вмикає реле К5, яке своїми контактами вмикає проміжне реле. При неузгодженій роботі контактів К1.2 і К2.2 в реле К4 зникає струм, розмикається контакт К4.2 і вимикається проміжне реле.

При замиканні кнопки “Пуск” спрацьовує вихідне реле К5 і отримує живлення проміжне реле.

Якщо опір заземлюючого проводу збільшиться до значення, що перевищує 100 Ом, або відбудеться його обрив, реле керування К1.1 і К2.1 блоку А1 вимикаються, розриваючи коло котушки виконавчого реле К5.1. В результаті пускач вимикається і блокується. Для налаштування вимірювального вузла на визначену уставку контрольованого опору заземлюючого проводу застосований змінний резистор R17. Пускач вимикається натисканням кнопки "Стоп" поста керування.

Справність кола котушок увімкнення контакторів можна перевірити, не подаючи напругу на електроприймач. Для цього встановлюють перемикачі S2 і S3 у положенні "Перевірка" і вмикають роз'єднувач. Виконавче реле К5.1 блоку А1 спрацює через контакт S3.1 кнопки S3 і діод VD. Ввімкнеться проміжне реле К3 і своїми контактами замкне коло котушок контакторів через лампу Н2 із зеленим

світлофільтром. Загоряння лампи свідчить про справність кола котушок контакторів.

Пристрій попереднього контролю ізоляції БКИ має дві уставки спрацьовування: попереджувальну й аварійну. У зоні попереджувальної уставки (опір від 200 до 30 кОм) БКИ сигналізує миготінням сигнальної лампи Н2, а в зоні аварійної уставки (опір нижче 30 кОм) розриває коло схеми керування пускачем, сигналізуючи про це світінням сигнальної лампи Н2. Схема блока БКИ (рис. 10.9) розрахована для роботи в двох режимах, для чого використовується тумблер SA, перемиканням якого виконується вибір уставки.

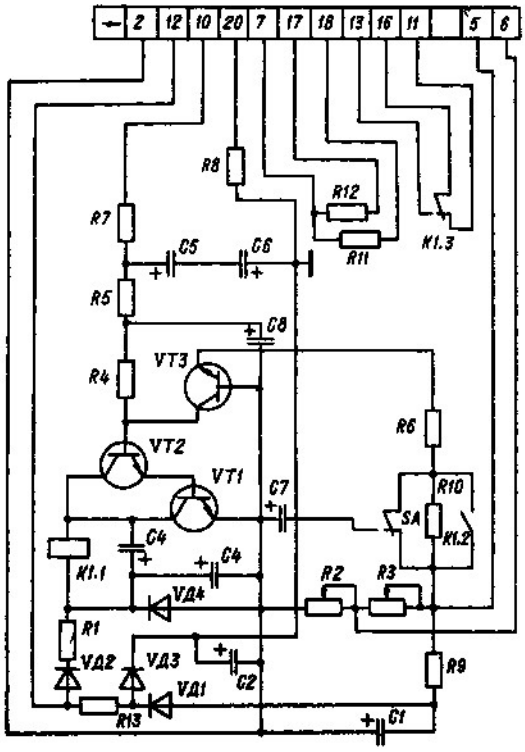



Рис. 10.9. Принципова електрична схема блоку БКИ

Схема складається з транзисторного підсилювача, виконаного на складеному транзисторі VT1, VT2, навантаженням якого є реле К1.1. Вимірювання опору здійснюється шляхом порівняння струмів керування складеного транзистора VT1, VT2 і колекторного VT3. При величині опору ізоляції приєднання, що відходить від апарата, вище встановленої уставки транзистор VT3 постійно відкритий, в результаті чого транзисторний підсилювач

закритий. При зниженні опору ізоляції до величини уставки транзистор VT3 закривається, а транзисторний підсилювач відкривається, при цьому спрацьовує реле К1.1, що своїми контактами блокує коло керування апарата. Схема дозволяє робити контроль ізоляції приєднань, що відходять від апарата, в обох режимах: *Попереджувальна* й *Аварійна* уставки. Для налаштування схеми на бажані уставки використовуються резистори R2 і R3.

З реверсивних пускачів на діючих підприємствах поширені вибухобезпечні реверсивні пускачі ПМВИР-41 і ПВИР-250.

У пускачі ПМВИР-41 максимальний струмовий захист здійснюється плавкими запобіжниками. При перегорянні плавкої вставки в одному із них працюючий електродвигун буде продовжувати обертатися, але струм у його обмотках перевищить номінальний. Щоб уникнути виходу його з ладу паралельно запобіжникам включають двообмоткове реле. При справних запобіжниках різниця потенціалів на їхніх затискачах близька до нуля, і реле вимкнене. Якщо плавка вставка в одному із запобіжників перегорить, то на затискачах цього запобіжника утвориться напруга, і реле спрацює, розмикаючи свій контакт у колі керування пускачем.

Пускач ПВИР-250 забезпечує ті ж види керування, захисту, блокування, сигналізації і перевірок, що і розглянуті вище нереверсивні пускачі. У ньому додатково передбачене електричне блокування, що перешкоджає одночасному вмиканню обох контакторів пускача.

Силове коло пускача (рис. 10.10) містить роз'єднувач Q, трансформатори струму ТА1 і ТА2, головні контакти К1.2 і К2.2 контакторів. В пускачі ПВИР-250 встановлені контактори КТУ-4 із прямоходовою системою. Котушки вмикання контакторів живляться випрямленим струмом від випрямляча U1, що приєднаний до затискачів (36 В) вторинної обмотки трансформатора TV1. При ввімкненому роз'єднувачі Q на випрямлячі U1 подана напруга. По колу: плюс випрямляча U1, допоміжні контакти К1.7, К.2.7 контакторів, резистор R5, котушка реле форсування вмикання К3.1, контакт кнопки S1, мінус U1 проходить струм. Реле

К3.1 спрацьовує і своїм замикаючим контактом шунтує резистори R3 і R4 у колі котушок вмикання контакторів.

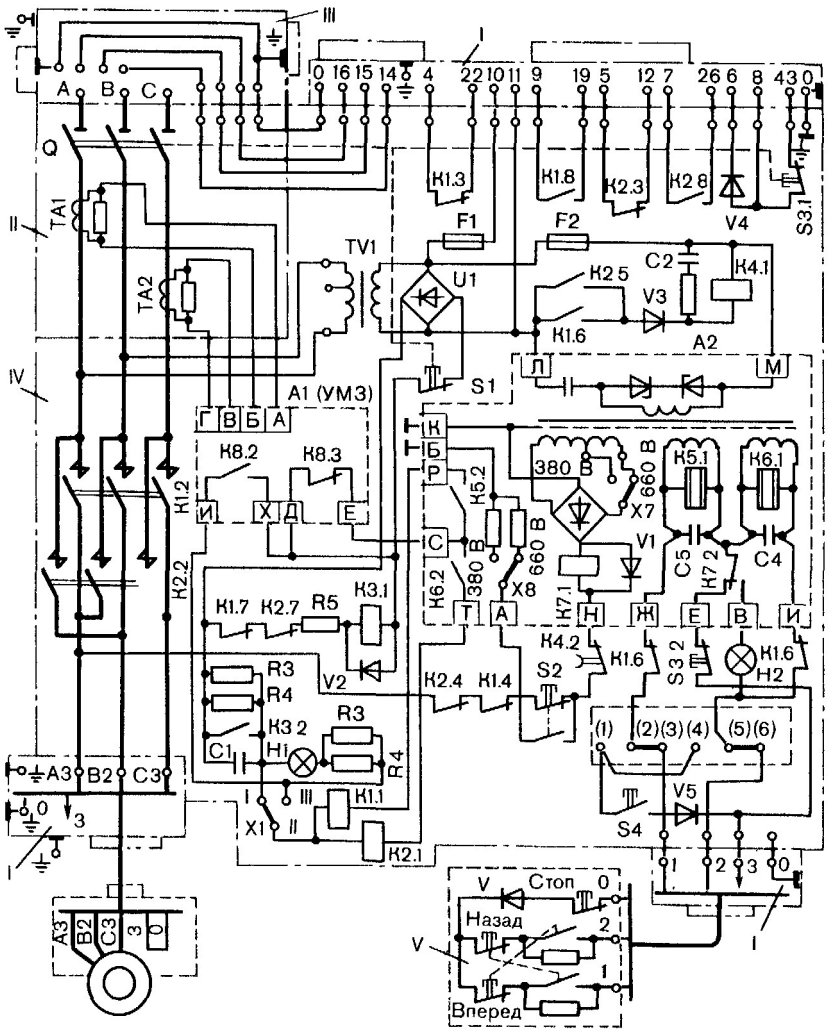



Рис. 10.10. Принципова електрична схема пускача ПВИР-250: I – відділення виводів; II – відділення роз'єднувача; III – мережеве відділення; IV – контакторне відділення; V – винесений пост при дистанційному керуванні за допомогою окремого кабелю

Для пуску електродвигуна в будь-якому напрямку, наприклад "Вперед", необхідно натиснути відповідну кнопку поста керування. При цьому в пускачі включиться проміжне реле К5.1 і замкне контакт К3.2 у колі котушки контактора К1.1. Контактор увімкнеться та допоміжним контактом К1.1 розімкне коло котушки К3.1 форсуючого реле, контакт К3.2 якого, розмикаючись, введе в коло котушки вмикання контактора резистори R3 і R4. В результаті струм у котушці контактора знизиться до значення струму утримання.

Пускачі ПВИ-25БТ, ПВИ-63БТ мають більш досконалі схеми керування (блок БДУ), напівпровідниковий максимальний захист (ПМЗ), захист від перевантаження (ТЗП) та блок контролю ізоляції (БКИ).

Електрична схема блоку ТЗП (рис. 10.11) складається з вимірювальної і виконавчої частин. Вимірювальна частина схеми живиться від трансформаторів струму через трифазний однопівперіодний випрямляч на діодах VД1-VД3, а виконавча – напругою 36 В через контакти 8 і 10 штепсельного роз'єму.

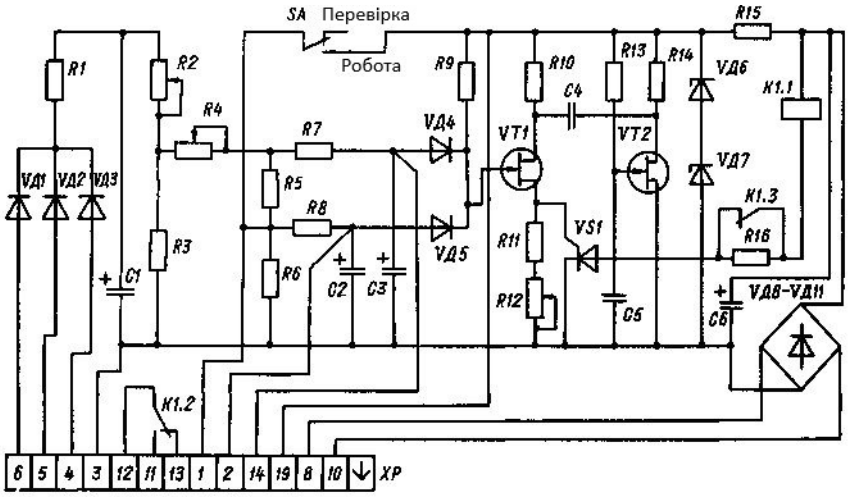



Рис. 10.11. Принципова електрична схема блоку ТЗП

Вимірювальна частина схеми включає в себе дільники напруги з резисторів R2, R3 і R5, R6, активно-ємнісні контури R7, C3 і R8, C2, схему АБО з діодів VД4 і VД5.

Виконавча частина виконана на основі граничного пристрою з однопереходних транзисторів VT1 і VT2, тиристора VS1, виконавчого реле K1.1 і випрямляючого моста VД8-VД11. При подачі живлення на схему і роботі двигуна в номінальному режимі напруга з вторинних обмоток трансформаторів струму надходить на випрямляючий міст і після випрямлення подається на дільники напруги R2, R3 і R5, R6. Відбувається заряд конденсаторів C2 і C3. Якщо двигун працює без перевантаження, то напруги цілком заряджених конденсаторів недостатньо для відкривання транзистора (ключа) VT1 виконавчого органа. Зі збільшенням навантаження відбувається подальше заряджання конденсаторів. Коли напруга на одному із конденсаторів досягає напруги спрацьовування ключа

(на С2 при перекиданні або пуску двигуна, що затягнувся, на С3 при перевантаженнях, що перевищують (1,1...1,2)$I_{ном}$), транзистор VT1 відкривається і подає імпульс на керуючий електрод тиристора VS1, в анодне коло якого приєднане виконавче реле К1.1. Стабілізація порога спрацьовування ключа здійснюється релаксаційним генератором, виконаним на однопереходному транзисторі VT2. При спрацьовуванні своїми контактами реле К1.1 діє на коло керування і сигналізації апарата. Час досягнення напруги спрацьовування ключа залежить від кратності перевантаження двигуна.

На напругу 1140 В в промисловості використовують пускачі ПВ-1140-250, ПВ-1140-2х25, ПВ-1140-2х63. Останні два пускачі на номінальні струми 25 і 63 А мають два контактора в одній оболонці, що дозволяє їх використовувати на два приєднання споживачів, тобто керувати двома електродвигунами, або, при відповідному переключенні схеми, використовувати їх як реверсивний пускач. Конструктивно ці вимикачі виконано в тій самій оболонці, що і пускач ПВ-1140-250.

Схеми пускачів на 1140 В максимально уніфіковані зі схемами пускачів ПВИ. В них використовують типові блоки: керування (БДУ), максимального захисту від перевантажень (ТЗП), контролю ізоляції (БКИ). Разом з тим мають місце деякі особливості:

- реверсивний роз’єднувач має конструкцію за якою при знятті напруги з пускача вихідні затискачі роз’єднувача приєднуються на землю;

- схема передбачає автоматичний контроль цілісності кола заземлення пересувної машини за допомогою спеціального блоку (БКЗ);

- керування машиною виконується за допомогою спеціального контрольного кабелю.

Контроль опору заземлюючого кола здійснюється мостовою схемою (рис. 10.12), три плеча якого складаються із резисторів R1 (R3, R11), а четверте являє собою петлю із заземлюючої і контрольної жил кабелю, що приєднуються відповідно до затискачів 0 і 3 пускача. В кінці лінії керування встановлюється

діод V. Зміна полярності діода V неприпустима, тому що при цьому реле К1 вимкнеться і заблокує контактом К1.1 коло керування пускачем. До діагоналі вимірювального моста приєднаний вхід підсилювача на транзисторах V8-V10 і тиристорі V11. Цей підсилювач у нормальному режимі вмикає реле К1. У випадку збільшення опору контрольованого кола вище 50 Ом і розбалансування вимірювального моста реле К1 вимикається і розмикає коло керування пускачем.

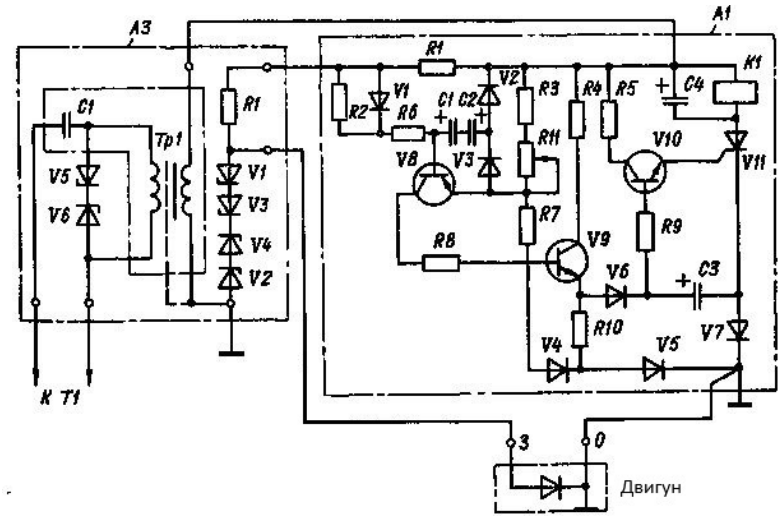



Рис. 10.12. Принципова електрична схема блоків живлення (А3) і контролю кіл заземлення БКЗ (А1)

Джерело живлення іскробезпечних кіл (блок А3 на рис. 10.12) складається з ферорезонансного стабілізатора напруги, зібраного на трансформаторі Тр1 і конденсаторі С1, і стабілітронів V1-V6, що зрізають викиди напруги при перехідних процесах. Для блокування пускача у випадку замикання жил контрольного кола або при їхньому обриві в блоці БКЗ введено додаткове коло, що складається з діодів V2 і V3, резисторів R2 і R6 і конденсаторів С1 і С2. Постійні часу заряду і перезаряду конденсаторів С1, С2 вибираються такими, щоб у режимах замикання жил контрольованого кола або пробою діода конденсатори, що зарядилися у неробочий півперіод полярністю, при якій транзистор V8 закритий, не змінювали б знаку заряду в робочий півперіод. При цьому реле К1 вимикається. Для запобігання помилкових спрацьовувань блока БКЗ при пусках потужних двигунів введений каскад на транзисторі V10. У нормальному режимі

транзистори V8 і V9 відкриті, а конденсатор C3 заряджений. Тому відкриті також транзистори V10 і V11. Якщо транзистори V8, V9 під час перехідного процесу закриті, конденсатор C3 буде розряджатися через резистор R9 і вхід транзистора V10, утримуючи його у відкритому стані на час пуску двигуна.

Електромагнітний вибухобезпечний пускач ПВВ-320 із вакуумним контактором (рис. 10.13) призначений для дистанційного керування електроприймачами в шахтах, небезпечних по газу і пилу, може застосовуватися при тих самих параметрах навколишнього середовища, що і пускачі серії ПВ на напругу 1140 В. Розрахований на застосування в трифазних електромережах з лінійною напругою 1140 або 660 В.

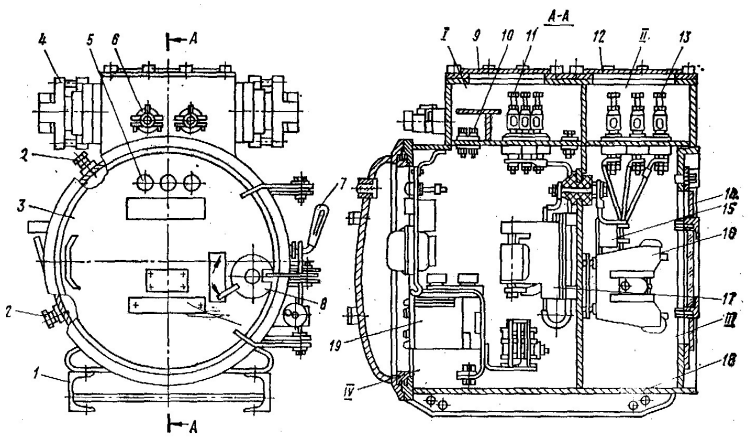



Рис. 10.13. Рудниковий вибухобезпечний пускач ПВВ-320 із вакуумним контактором: I, II, III, IV – відділення виводів, вводів, роз'єднувача і контактора відповідно; 1 – салазки; 2 – заземлюючі затискачі; 3 –кришка, що швидко відкривається; 4, 6 – кабельні вводи (силовий і контрольний відповідно); 5 – оглядове вікно сигнальних ламп; 7 – ручка приводу роз'єднувача; 8 – привод замка кришки; 9, 12, 14 – кришки відділень виводів, вводів, роз'єднувача відповідно; 10, 11, 13 – прохідні затискачі (контрольний і силові відповідно); 15 –трансформатор струму; 16 – блокувальний роз'єднувач; 17 – контактор; 18 – корпус; 19 – панель апаратури

Відмінною рисою цього пускача є наявність у ньому вакуумного контактора. Гасіння у вакуумі електричної дуги, що виникає при комутації струму в силовому колі, дозволяє виключити шкідливий вплив продуктів горіння дуги на ізоляційні деталі й антикорозійні покриття і різко підвищити ефективність

дугогасної системи. В результаті збільшується (у декілька разів) ресурс роботи пускача, особливо у важких режимах роботи, порівняно з ресурсом пускачів, що мають звичайний електромагнітний контактор.

Ввідні пристрої силових кіл забезпечують приєднання і вибухобезпечне ущільнення гнучких або броньованих кабелів із сухим розбиранням. Конструкцією пускача передбачено три кабельних вводи для контрольних і шість для силових кіл.

Конструктивно пускач ПВВ-320 (рис. 10.13) уніфікований із пускачами типу ПВ.

УкрНДУВЕ розробило нову серію вибухозахищених пускачів серії ПРВИ на струми 250, 320 та 400 А.

Починаючи з 2001 року, Торезським електротехнічним заводом освоєно випуск нових серій рудникових пускачів: нереверсивних: типів ПВИ-32М, ПВИ-63М, ПВИ-125М, ПВИ-160М відповідно на номінальні струми 32, 63, 125 та 160 А та ПВИ-250М, ПВИ-250МВ, ПВИ-320МВ на струм 250 та 320 А, та реверсивних ПВИ-80МР і ПВИ-250МР (рис. 10.14) на номінальні струми 80 та 250 А. Нові серії пускачів виготовляються з глухим та штепсельним виводами. В пускачах зі штепсельним виводом в позначеннях додається літера “Ш” (наприклад, ПВИ-125М(Ш) або ПВИ-250МРШ). Пускачі розраховані на роботу в мережах з номінальною напругою 380, 660 та 1140 В. мають захисти від струмів короткого замикання та перевантаження. В них використовуються нові серії контакторів КТУ-3000 та КРМ-250.

Пускачі серії ПРН призначені для дистанційного керування електроприймачами в шахтах і рудниках, безпечних за газом або пилом, і випускаються в рудниковому нормальному виконанні. Їх оболонки забезпечують ступінь пиле- і бризкозахищеності не нижче IP54. Мають пускачі три виконання: на номінальні струми 63; 100 і 200 А; призначені для експлуатації за температури навколишнього середовища від -45 до +40 °С, відносної вологості повітря 97 % за температури 35 °С, запиленості до 100 мг/м$^3$.

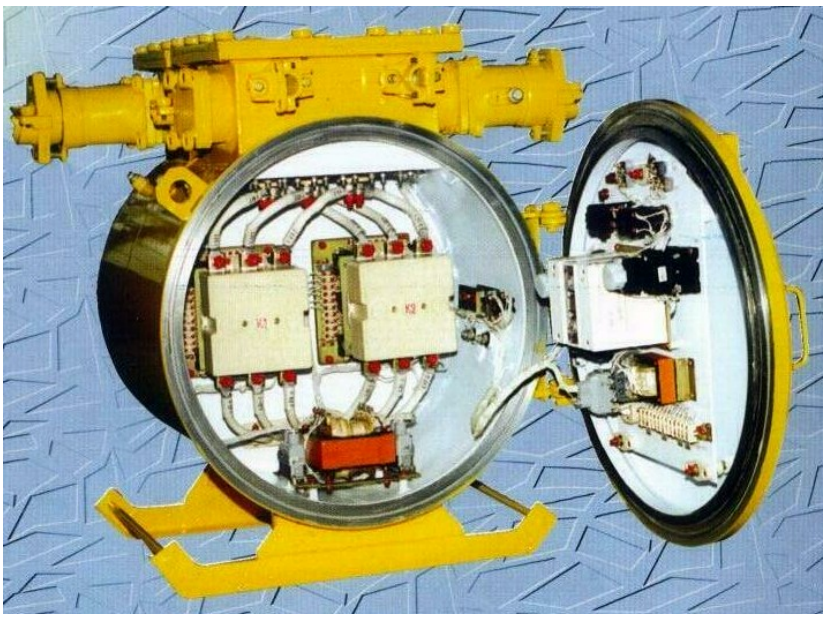


Рис. 10.14. Пускач вибухозахищений реверсивний типу ПВИ-250МР

Встановлюються пускачі на горизонтальній поверхні, можуть підвішуватися на вертикальній стіні. Можливий нахил корпуса від нормального робочого положення до 10° для ПРН-63 і ПРН-100, до 5° – для ПРН-200. Коливання напруги електричної мережі можуть складати 85-100 % від номінального (380 В).

Найбільша потужність, що підключається до пускачів ПРН-63, ПРН-100 і ПРН-200, електроприймача в категорії застосування АС3 дорівнює 32; 55, 100 кВт. Напруга кола керування складає 36 В.

Пристрої вводу пускачів допускають приєднання багатожильних гнучких кабелів типів КРПГ, КРПС, КРПТ. Передбачено можливість введення трьох силових (для приєднання до мережі, до навантаження і для живлення транзитного навантаження) і двох контрольних кабелів.

Електрична схема пускача серії ПРН забезпечує дистанційне ручне керування за допомогою кнопкового поста, вбудованого в машину або встановленого окремо; дистанційне автоматичне керування від замикаючого допоміжного контакту контактора іншого пускача або датчика; захист від втрати керованості при обриві або замиканні проводів дистанційного керування, від обриву або збільшення опору понад 100 Ом жили заземлюючого кабелю, що живить керований електроприймач; нульовий захист; захист від самовільного

вмикання пускача при короткочасному підвищенні напруги мережі до 150% від номінального значення, від перекидання двигуна і сигналізацію про спрацьовування цього захисту.

Принципова електрична схема пускачів серії ПРН наведена на рис. 10.15.

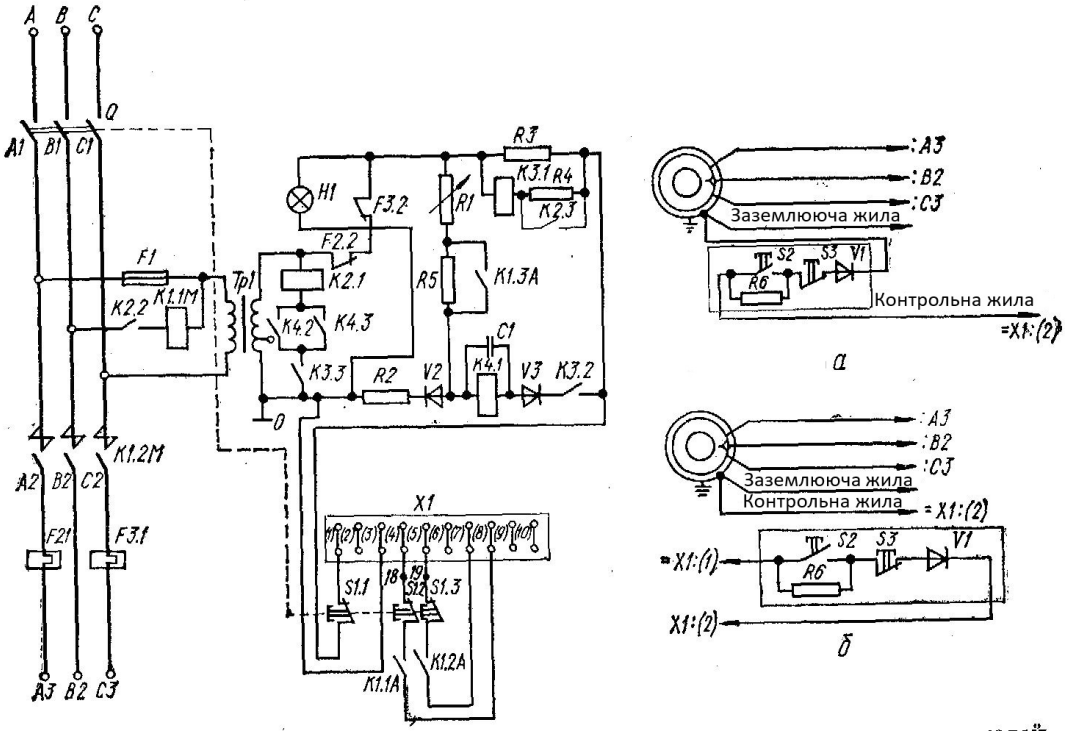



Рис. 10.15. Принципова електрична схема електромагнітних пускачів серії ПРН в рудниковому нормальному виконанні

Керування електроприймачем виконується за допомогою силових контактів К1.2М контактора. В пускачах на струми 63 і 100 А застосований контактор КТ-7023У, а на струм 200 А – КТ-6033.

Схема дистанційного керування складається з вимірювального моста, зібраного на резисторах Rl, R2, R5, в діагональ якого приєднана обмотка реле К4.1. Живлення схеми виконується від вторинної обмотки трансформатора.

Для керування та захисту приводів штовхачів, засувок трубопроводів, стовбурних дверей, стрілкових переводів призначені автоматичні рудникові пускачі ПРА, що використовуються в схемах дистанційного, централізованого чи автоматичного керування шахтними механізмами, а також для керування колонковими електросвердлами.

В схемі пускача для подачі напруги на схему встановлено автоматичний вимикач; два контактори зібрані за реверсивною схемою керування. Схема керування подібна схемам керування пускачів ПВИ.

Для місцевого та дистанційного керування електродвигунами з короткозамкнутим ротором в хімічній, газовій, нафтовій та інших галузях промисловість випускає магнітні вибухозахищені пускачі типів ПМВ-25 та ПМВ-32. Пускачі мають захист від перевантаження та обриву фази.

## 10.5. Пускові агрегати

Пусковим агрегатом називають пристрій, що містить силовий понижуючий трансформатор, комутаційну апаратуру й апарати захисту. Пускові агрегати призначені для живлення і керування ручними електросвердлами або іншим ручним електроінструментом. Напруга цих електроприймачів відповідно до вимоги Правил безпеки не повинна перевищувати 127 В.

Промисловість виготовляє пусковій агрегати НПШ-М-01 напругою 380 та 660 В, та НПШ-М-02 напругою 660 та 1140 В призначені для живлення, керування і захисту двох шахтних ручних електросвердел, а також для місцевого освітлення. Вони мають вбудовані елементи захисту від витоку і автоматичний вимикач, який виконує також функції роз'єднувача. Все електроустаткування агрегатів укладено у вибухонепроникну оболонку, розділену перегородкою на відділення пускозахисної апаратури і трансформатора.

Силовий трансформатор – трифазний, сухий, потужністю 4 кВА. Початки і кінці обмоток ВН трансформатора виведені на прохідні затискачі і з боку панелі за допомогою спеціальних перемичок можуть з'єднуватися в трикутник (при подачі напруги 380 В) або в зірку (при 660 В).

Агрегати АПШ (рис. 10.16) забезпечують:

- одночасне живлення двох ручних електросвердел напругою 127 В і потужністю до 1,6 кВт кожне;

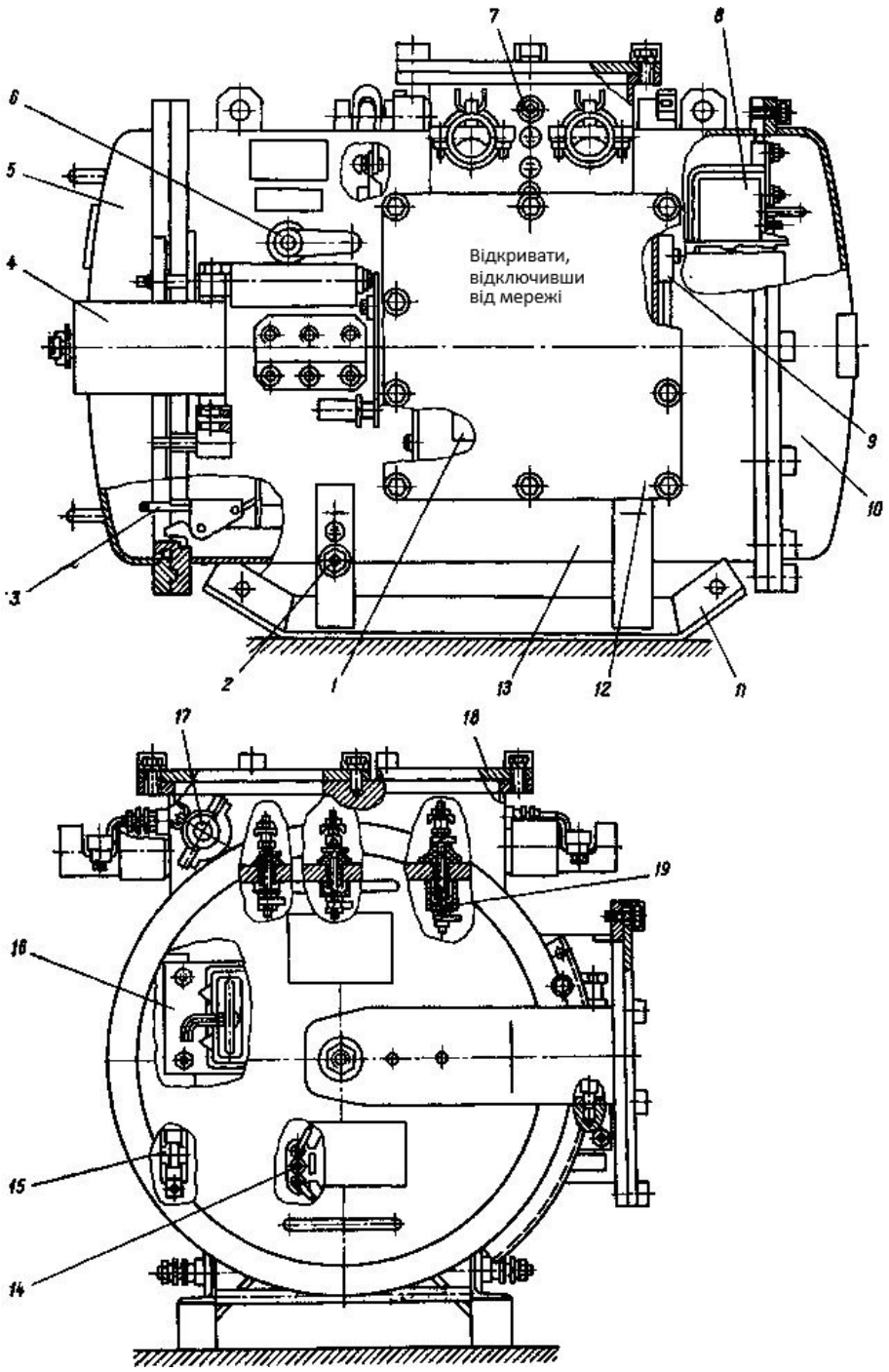



Рис. 10.16. Шахтний пусковий агрегат АПШ-1М:

1 – автоматичний вимикач; 2, 7 – зовнішні заземлюючі затискачі; 3 – панель керування; 4 – блокувальна планка; 5 –передня кришка, що швидко відкривається; 6 – ручка приводу вимикача; 8 – силовий трансформатор; 9 – зубцюватий ключ; 10, 12 – кришка задня і відділення автоматичного вимикача; 11 – салазки; 13 – корпус; 14 – клемник; 15 – кронштейн із запобіжниками; 16 – блок реле витоку; 17 – кабельні вводи; 18 – кришка відділення вводів; 19 – прохідні затискачі

- дистанційне керування електросвердлами по іскробезпечному колу;

- живлення мережі місцевого освітлення напругою 127 В і потужністю 0,2 кВА;

- захисти – від обриву або надмірного збільшення опору кола заземлення; від струмів КЗ (максимальний захист); від втрати керованості при перемиканні жил керування; від витоку струму в колі 127 В; мінімальний захист.

## Контрольні запитання

*1. Що відноситься до електричні апарати дистанційного керування?*

*2. Сформулюйте принцип дії, класифікацію, елементи конструкції контакторів та реле.*

*3. За рахунок чого виконується підвищення комутаційної здатності контакторів?*

*4. Опишіть рудникові магнітні пускачі, вимоги до них та функції, особливості конструктивного та схемного виконання.*

*4. Яке призначення та принцип роботи блоків БКІ та ТЗП?*

*5. Яке призначення, сфера застосування та схеми пускових та освітлювальні агрегатів?*

# ЛЕКЦІЯ 11. Комплектні розподільчі пристрої напругою 6 (10) кВ

11.1. Комплектні розподільчі пристрої підстанцій та розподільчих пунктів.

11.2. Застосування комплектних розподільчих пристроїв на кар’єрах.

11.3. Рудникові комплектні розподільчі пристрої.

## 11.1. Комплектні розподільчі пристрої підстанцій та розподільчих пунктів

Електропостачання сучасних промислових підприємств базується на використанні комплектних установок: комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), комплектних розподільчих пристроїв (КРП), комплектних перетворювальних підстанцій (КПП) та ін. Це дає значний економічний ефект тому, що скорочує строки монтажу електроустановок, здешевлює будівництво, дозволяє вести роботи індустріальними методами. При використанні комплектних пристроїв підвищується надійність роботи електроустановки, зручність та безпека обслуговування, забезпечується швидке розширення та мобільність при реконструкції електроустановок.

КРП називають РП, що випускаються у вигляді окремих блоків або шаф, укомплектованих повним набором необхідних апаратів для виробництва самостійних операцій. Основне призначення КРП – прийом і розподіл електричної енергії трифазного змінного струму промисловою частотою 50 Гц при напрузі вище 1 кВ. Такі КРП називають КРП із силовим вимикачем. Крім даного виконання випускають КРП, у шафах яких розміщують вимикачі навантаження, запобіжники мереж напругою вище 1 кВ, трансформатори напруги і трансформатори власних потреб, силові трансформатори, роз'єднувачі, розрядники. Таким чином, в залежності від призначення, схеми первинних з'єднань КРП мають декілька десятків модифікацій. Застосування КРП сприяє

широкому впровадженню розукрупнення підстанцій, застосуванню глибоких введень і магістральних схем.

Для установки в закритих приміщеннях застосовують КРП двох конструктивних виконань: викатні і стаціонарні. Перші КРП компактні, мають закриті струмоведучі частини, надійну ізоляцію, ущільнення від пилу, можливість ревізії або ремонту апаратів висувної частини поза місцями установки КРП. Другі – дозволяють здійснювати достатній і безпечний контроль за роботою апаратів всередині КРП з доступом до устаткування без зняття напруги зі збірних шин, простіші по конструкції, дешевші.

Викатні КРП рекомендують використовувати в першу чергу в найбільш складних крупних і відповідальних електроустановках, в яких необхідно мати швидку взаємозамінність при пошкодженні основного апарата – вимикача. Вони приблизно на 30% дорожчі, займають більшу площу, більш зручні в ремонті та більш надійні в обслуговуванні.

Стаціонарні КРП більш доцільні в першу чергу для простіших схем комутації, а також для зовнішніх установок, де умови експлуатації викатних камер складніші через непогоду. Вони доцільні також як важкі багатоамперні пристрої.

КРП можна класифікувати за наступними основними ознаками: значенням номінальної напруги і струму, граничної потужності вимикання, типом силового вимикача і приводу, призначенням, видом обслуговування (одно- або двостороннє).

Прикладом викатних КРП можуть бути: КРУ-2-10 та КР-10 на напругу 6-10 кВ, номінальні струми від 630 до 3500 А з вимикачами типів ВМПЭ-10 (рис. 11.1) або ВМПП з вмонтованими електромагнітами та пружинними приводами з двохстороннім обслуговуванням; серій КМ-1 та КЕ-10 на базі уніфікованої сітки вторинних з’єднань на номінальний струм від 630 до 3500 А з вимикачами ВМП-10К, ВК, ВКЕ, ВМПЕ та ВЕ-10/20 (КЕ-10) з електромагнітними та пружинними приводами; серії КВВО-2 на струми 630-1000 А з вимикачем

ВМП-10; КРП з вакуумними вимикачами навантаження ВНВП-10/320, вмонтованими в шафи КРП КХІІ, які одержали назву К-ХІІ/ВАК.

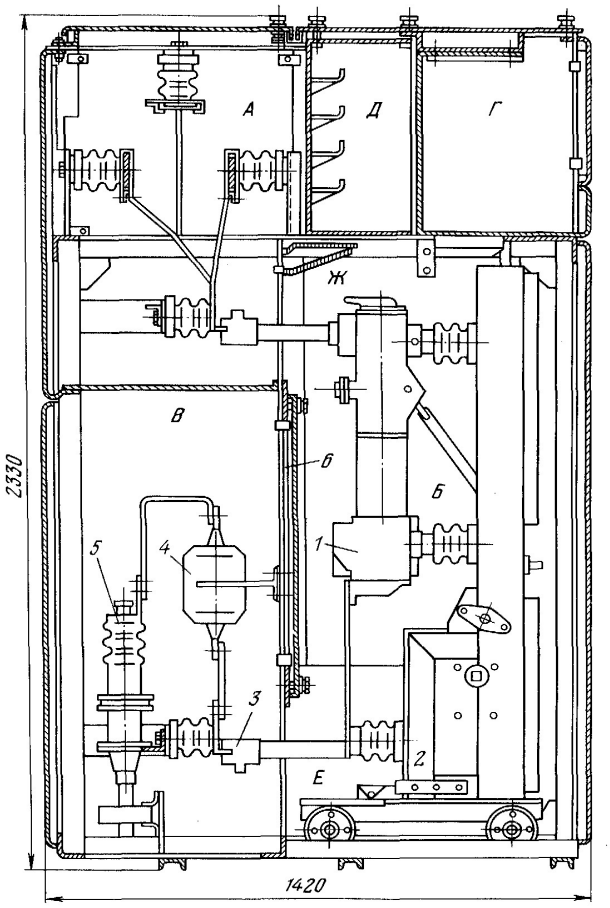



Рис. 11.1. КРП 10 кВ на базі вимикача ВМП10: А – відсік збірних шин; Б – відсік вимикача 1 із приводом 2; В – відсік трансформаторів струму 4 з вторинними роз'єднувачами 3 і вихідним кабелем із кінцевим розбиранням 5; Г – відсік релейних апаратів і приладів для вимірів, Д – відсік кабелів керування; Ж і Е – отвори в перегородках, що закриваються в проміжних положеннях викатного візка металевими шторами 6

До стаціонарних КРП відносяться РП типу КСО (К – кабіна, С – збірна, О – одностороннього обслуговування). РП набирають з окремих камер КСО з вбудованими в них електричними апаратами, приладами релейного захисту, вимірювання, автоматики, сигналізації і керування. Основною відмінністю КСО від КРП є їхнє відкрите виконання: збірні шини в КСО всіх виконань прокладені

відкрито зверху камери КСО. До камер КСО зі стаціонарним устаткуванням відносяться камери КСО-272, КСО-266, КСО-285, КСО-366 і ін.

З шаф зовнішньої установки слід назвати серію КРУН-6(10)Л з номінальним струмом 630-1600 А з вимикачами ВМП-10, ВМПЕ-10.

Як правило, викатний КРП складається з чотирьох основних частин: корпусу, викатного візка, релейної шафи і відсіку збірних шин. Корпус являє собою жорсткий металевий кожух, в якому розміщена апаратура, обумовлена схемою з'єднання первинної комутації. Металевими шторками і перегородками корпус розділений на відсіки: викатного візка, верхніх роз'єднувальних контактів, трансформаторів струму і кабельних розділень. На викатному візку встановлюють те устаткування, для якого безпосередньо призначене КРП. Релейна шафа має від 10 до 22 приладів, розташованих на поворотному блоці. На передній частині дверей розташовують прилади виміру й обліку енергії, ключі керування, апаратуру сигналізації; на задній стінці – збірка затискачів кіл вторинної комутації. Відсік збірних шин встановлюють на корпусі КРП.

В викатних КРП передбачені механічні й електричні блокування, що не дозволяють: увімкнути вимикач при неробочому положенні візка або викотити візок при ввімкненому вимикачі; відчинити двері відсіку силового трансформатора при ввімкненому блоці запобіжник-роз'єднувач і вимкнути даний блок при ввімкненому автоматі на стороні низької напруги. Цей самий блок не можна ввімкнути при відкритих дверях відсіку трансформатора та ввімкненому автоматі. У КРП із заземлюючими роз'єднувачами блокування не дозволяють викочувати візок при включеному роз'єднувачі або включати заземлюючий роз'єднувач у робочому положенні візка. На передній частині викатних КРП є оглядові вікна для спостереження за апаратурою, розташованою на візку, і за рівнем мастила (в масляних вимикачах).

Для кожної серії КРП характерною є сітка головних кіл в залежності від кількості вводів чи виводів (права, ліва), характер електрообладнання (масляний вимикач чи вимикач навантаження, роз’єднувач, трансформатори напруги,

кількість трансформаторів струму, види захисту) та ін. На рис. 11.2 і 11.3 наведені схеми з'єднань окремих шаф викатних КРП серії КРУН-6(10) та стаціонарних КРП серії КСО-285 відповідно.

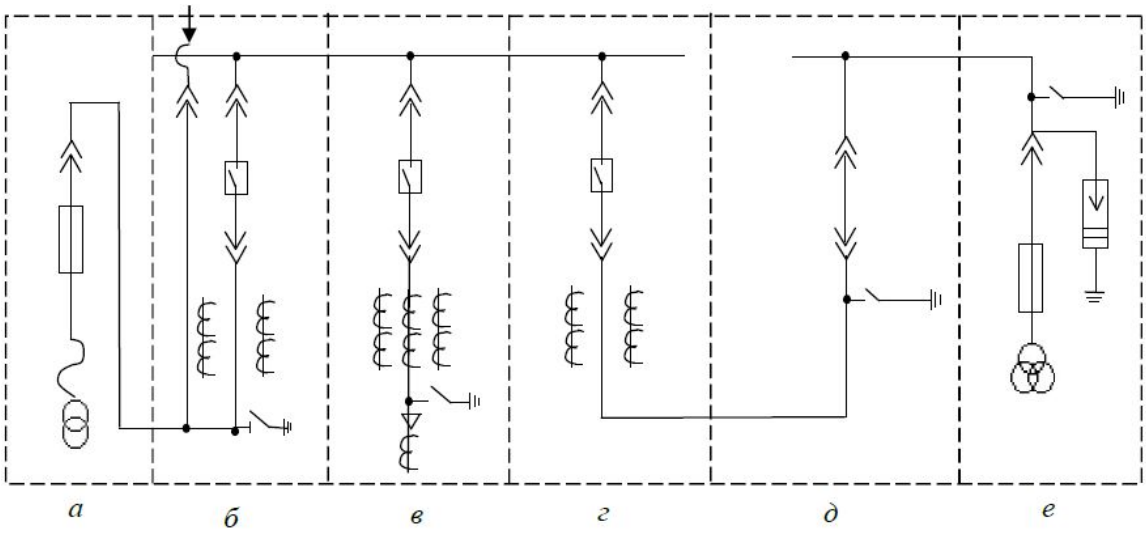



Рис. 11.2. Схеми первинних з'єднань окремих КРП серії КРУН-6(10):
а – трансформатор власних потреб; б – вхідна КРП; в – лінія, що відходить до споживача; г – секційний вимикач; д – секційний роз'єднувач; е – трансформатор напруги та розрядник

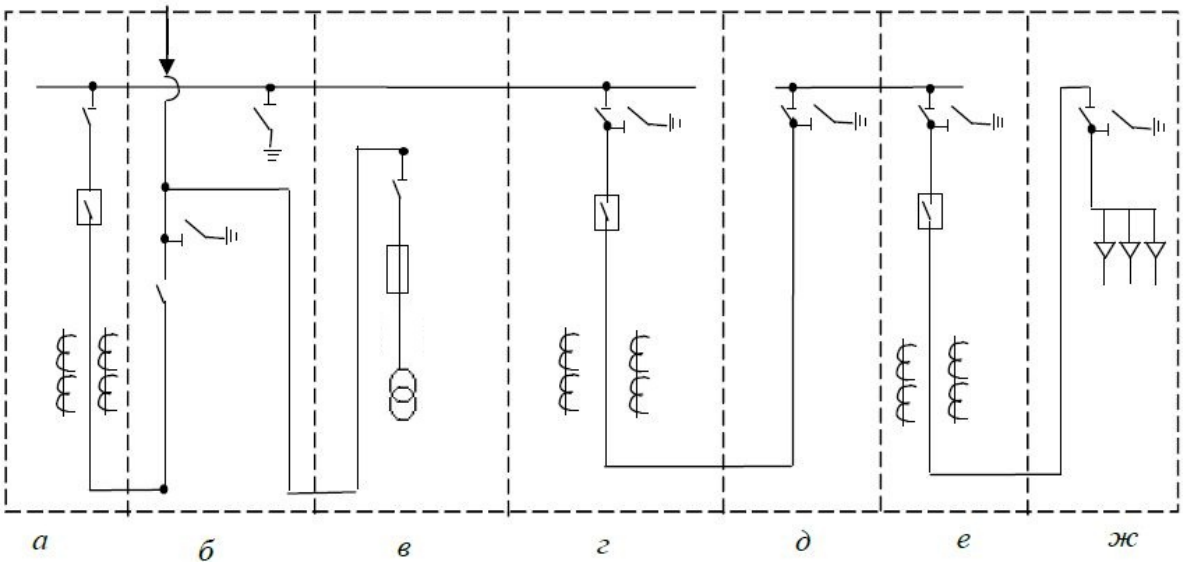



Рис. 11.3. Схеми первинних з'єднань окремих КРП серії КСО-285: а, б – шинний ввід; в – трансформатор власних потреб; г – секційний вимикач, д – секційний роз'єднувач; е, ж – шафи лінії, що відходить до споживача та кабельної збірки, відповідно

## 11.2. Застосування комплектних розподільчих пристроїв на кар’єрах

В електропостачанні кар'єрів комплектні розподільні пристрої знаходять широке поширення. Вони використовуються як при формуванні РП підстанцій так і в якості примикаючих пунктів для підключення високовольтних приймачів (пересувних трансформаторних підстанцій, екскаваторів із високовольтними двигунами перетворювальних агрегатів, двигунів високої напруги насосів, компресорів і т.п.) до повітряних або кабельних ліній електропередачі. З окремих комірок комплектних пристроїв монтуються розподільчі пункти, що дає можливість розукрупнювати приймачі електроенергії і цим забезпечувати більш надійне електропостачання. Екскаваторні КРП служать для підключення, керування і захисту високовольтних двигунів, головних і допоміжних трансформаторів або інших робочих машин і установок екскаваторів.

В даний час як примикаючі пункти на кар'єрах знаходять застосування серійно виготовлені комплектні розподільчі пристрої ПКРН-63М, ЯКНО-6ЕП, ОПП, КРН, КРУН-6 та ін.. На екскаваторах із високовольтними двигунами перетворювальних агрегатів в схемах керування цими двигунами використовуються спеціальні розподільчі пристрої 2КВЕ-6-60 (ЕКГ), на екскаваторах ЕШ-10/70, ЕШ-15/90 – КРУ ЕПЕ-6П, а на потужних екскаваторах – КРУЕ-10У2. Новим в проектуванні і модернізації існуючих розподільчих пристроїв для відкритих гірничих робіт є вдосконалення схем захисту, головним чином від однофазних замикань на землю, контроль ізоляції і дистанційне вмикання і вимикання вимикача розподільчого пристрою, заміна масляних вимикачів вакуумними, електромагнітними й іншими більш досконалими вимикачами.

На діючих кар’єрах як примикаючі пункти іноді ще використовують КРП типу РВНО-6, які обладнані великооб’ємним баковим масляним вимикачем типу ВМБ-10. РВНО-6 призначений для вводу і виводу (до 10 кВ) кабельних ліній, однак він має ряд недоліків: має відносно невелику потужність вимикання;

можливий тільки кабельний ввід від повітряної лінії електропередач; не має захисту від перенапруг; не пристосований для комплектування групового розподільчого пристрою; відсутній трансформатор напруги, що позбавляє можливості встановлення вимірювальної апаратури.

Через зазначені недоліки РВНО-6 у даний час не рекомендується до встановлення в якості примикаючого пункту на рудникових кар'єрах і вугільних розрізах.

Розподільчий пристрій ПКРН-6 обладнаний масляним вимикачем ВМП-10К, трансформатором напруги НОМ-6, передбачає захист від однофазних замикань на землю, має п'ять видів виконання і може бути використаний для наступних цілей: вводу і виводу для комплектного пересувного пристрою на 6 кВ (I і II виконання); контролю ізоляції і вимірювання напруги пересувного комплектного пристрою на 6 кВ (III виконання); секціонування повітряних ліній електропередачі (IV виконання); підключання окремого електроприймача з повітряним вводом і кабельним виводом або з повітряними вводом і виводом (V виконання).

Розподільчий пристрій ЯКНО-10У1 обладнується масляним вимикачем ВМП-10К і трансформатором напруги НТМИ-6, має захист від однофазних замикань на землю. Пристрій має повітряний ввід, що може бути заміненим кабельним, і кабельний вивід. Розподільний пристрій ЯКНО-10У1 може бути використаний як окремий примикаючий пункт і як комірка розподільчого пристрою на 10 кВ.

КРП типу ЯКНО-10У1 виготовляється в наступних виконаннях (рис. 11.4):

- за призначенням у виконанні I для установки на відгалуженнях в мережах кар’єрів, а також в місцях приєднання споживачів до внутрішньокар’єрних ліній електропередач, та у виконанні II для живлення електрообладнання роторних комплексів;

- за способом керування вимикачами розрізняють ЯКНО-6ЕП та ЯКНО-10ЕП з пружинним приводом ПП-67, ЯКНО-6ЕР та ЯКНО-10ЕР з ручним приводом ПРБА.

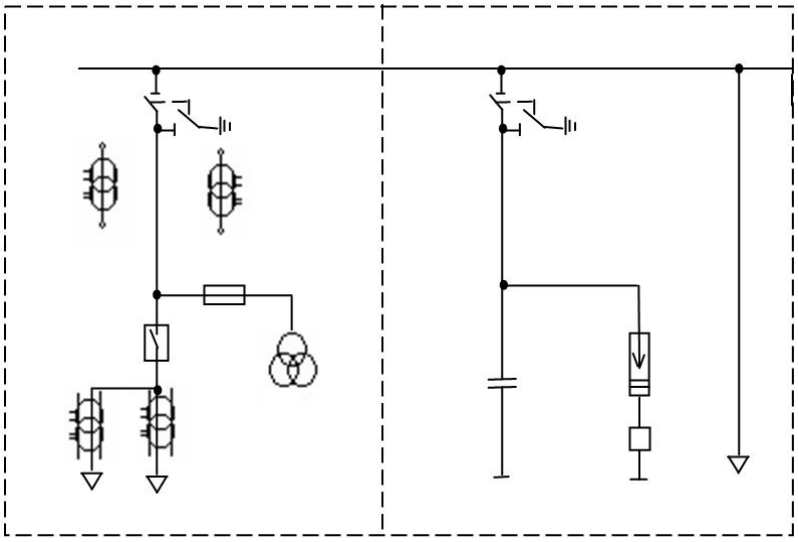


Рис. 11.4. Схема первинних з’єднань КРП типу ЯКНО-10У1 ІІ виконання

На рис. 11.5. показана схема комутації ЯКНО-6ЭП. Керування високовольтним роз'єднувачем *Р* здійснюється за допомогою приводу ПР-2, вимикачем – пружинним приводом ПП-67. Живлення кіл керування, захисту і сигналізації здійснюється від трансформатора напруги *ТН* типу НТМИ-6. Зазначені кола захищені автоматичним вимикачем *АВ.* Облік активної електроенергії виконується лічильниками *1Wh* і *2Wh.*

Для захисту приймачів від КЗ. передбачений максимальний струмовий захист миттєвої дії, вбудований в привод ПП-67.

Захист від однофазних замикань на землю здійснюється за допомогою трансформатора струму нульової послідовності *ТС ТНП-2* і реле максимального струму ЭТД-551/60.

Захист працює наступним чином: при однофазному замиканні на землю симетрія струмів у фазах порушується, у сердечнику *ТС* з'являється магнітний потік, що у вторинній обмотці наводить ЕРС, що викликає протікання струму через обмотку реле ЭТД-551/60, що замикає нормально розімкнутий контакт у

колі котушки проміжного реле *РП,* що, у свою чергу, спрацьовує і замикає нормально розімкнутий контакт у колі електромагніта *ЕО* вимикання пружинного приводу. Це призводить до відключення масляного вимикача *В.* Одним із своїх контактів реле *РП* замикає коло вказівного реле РУ, яке в свою чергу, контактом *РУ* замикає коло сигнальної лампи *ЛБ.* Таким чином, загоряння лампи *ЛБ* сигналізує про замикання на землю.

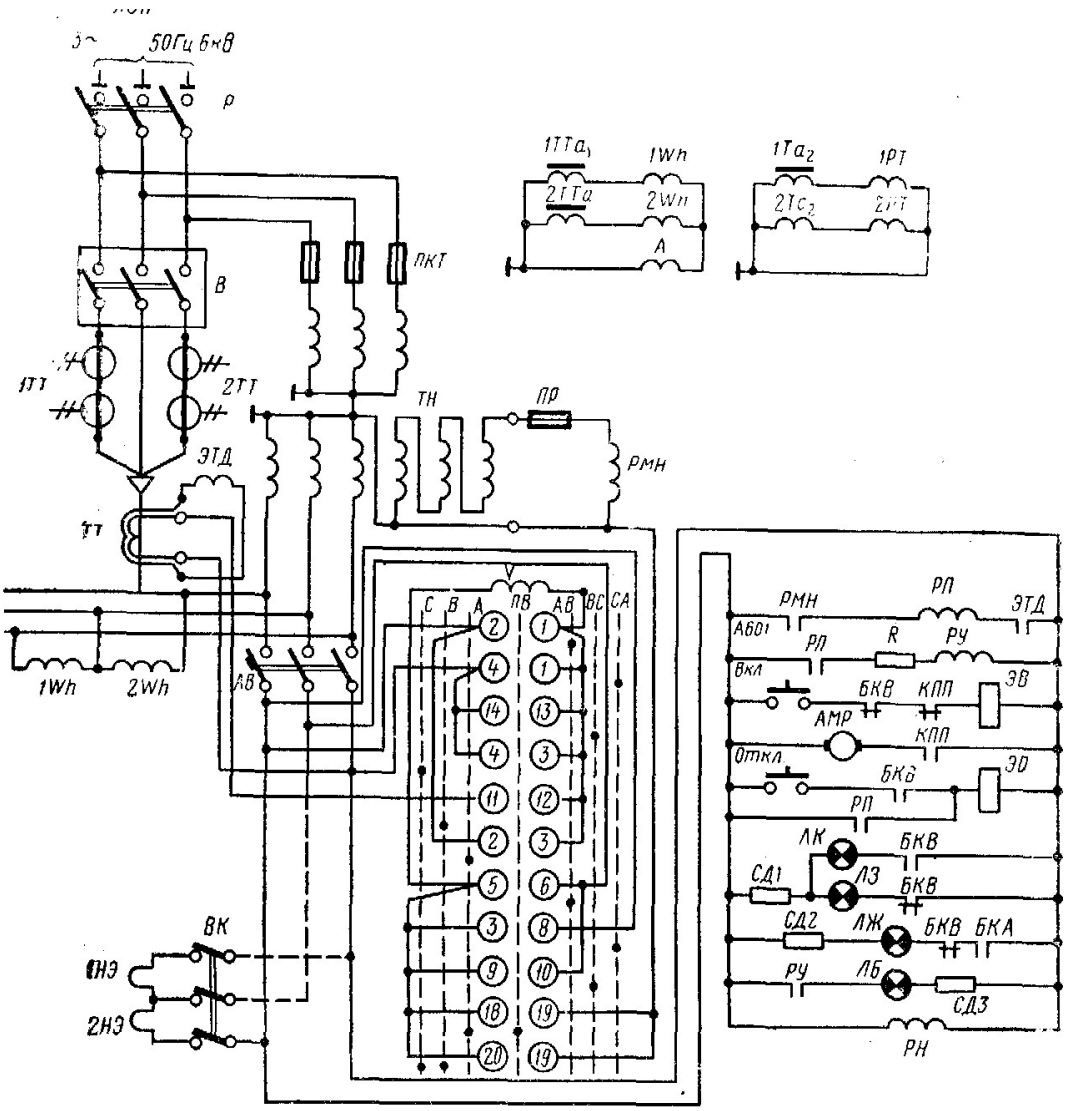



Рис. 11.5. Схема комутації розподільчого пристрою ЯКНО-6ЭП

За допомогою реле максимальної напруги *РМН* схемою здійснюється дублювання захисту від однофазних замикань на землю. Котушка реле *РМ11* приєднана через запобіжник *ПР* на фазну напругу мережі, тому при нормальному

режимі контакт *РМН* у колі проміжного реле розімкнутий. У випадку замикання однієї з фаз на землю до реле *РМН* підводиться лінійна напруга, на якій реле спрацьовує і замикає контакт у колі проміжного реле *РП* (одночасно замикається і контакт реле *ЭТД).*

Захист від роботи на пониженій напрузі і при зникненні напруги здійснюється реле мінімальної напруги, вбудованим у привод ПП-67. Вимірювання фазних і лінійних напруг, а також контроль стану ізоляції виконуються за допомогою вольтметрового перемикача *ПВ* і вольтметра Р*V.*

Спрацьовування автоматичного моторного редуктора *АМР,* здійснюється через блок-контакти положення пружини *КПП* приводу вимикача. Масляний вимикач *В* може бути ввімкнений або вимкнений дистанційно натисканням відповідно кнопок «Вкл.» або «Відкл.». Положення вала приводу (робоче) контролюється блок-контактами *БКВ,* аварійне положення – блок-контактом *ВКА.* Живлення струмових кіл захисту і вимірювання здійснюються від трансформаторів струму *1ТС* и *2ТС.*

При ввімкненому масляному вимикачі і нормальному режимі роботи горить червона сигнальна лампа *ЛК.* При вимкненні масляного вимикача від елементів захисту приводу ПП-67 горить жовта лампа *ЛЖ* і, як було зазначено вище, при замиканнях на землю горить лампа білого кольору *ЛЧ.* Сигнальні лампи приєднані через баластові опори *1СД, 2СД* і 3*СД.* В зимовий час комірка може обігріватися тепловими елементами *1НЭ* і *2НЭ,* що вмикаються спеціальним вимикачем *ВК.*

Для електропостачання екскаватора-драглайна ЕШ-100/100 призначений пересувний примикаючий пункт ППП-10/1000, що складається із чотирьох шаф (рис. 11.6): комплектної шафи з силовим трансформатором ТМЕ-10/40 з роз’єднувачем та запобіжником (КТМ); комплектної шафи з вимикачем і електромагнітним приводом (КВЕ); комплектної шафи з трансформаторами напруги та розрядником (КТНР); комплектної шафи кабельної збірки (КРКЗ).

Найбільш поширеними екскаваторами КРП є 2КВЕ-6, КРУЕПЕ-6П-400/100, КРУЕ-10У2.

Екскаваторний КРП типу КРУЕПЕ-6П-400/100 має три модифікації схеми первинних з'єднань, в ньому використовують масляний вимикач ВММ-10Е з електромагнітним приводом, забезпечується максимальний та мінімальний захисти. Екскаваторний КРП типу КРУЕ-10У2 має п'ять модифікацій за виконанням схеми первинних з'єднань, масляний вимикач ВМПЕ-10 на струми 400 та 630 А з електромагнітним приводом. Конструктивно шафа складається з двох частин: корпусу та викатного візка з вимикачем. На основі екскаваторного пристрою КРУЕПЕ-6П-400/100 виготовляється КРП з вакуумним вимикачем ВНВП-10/320/242 типу КРУЕ-10В-630-20.

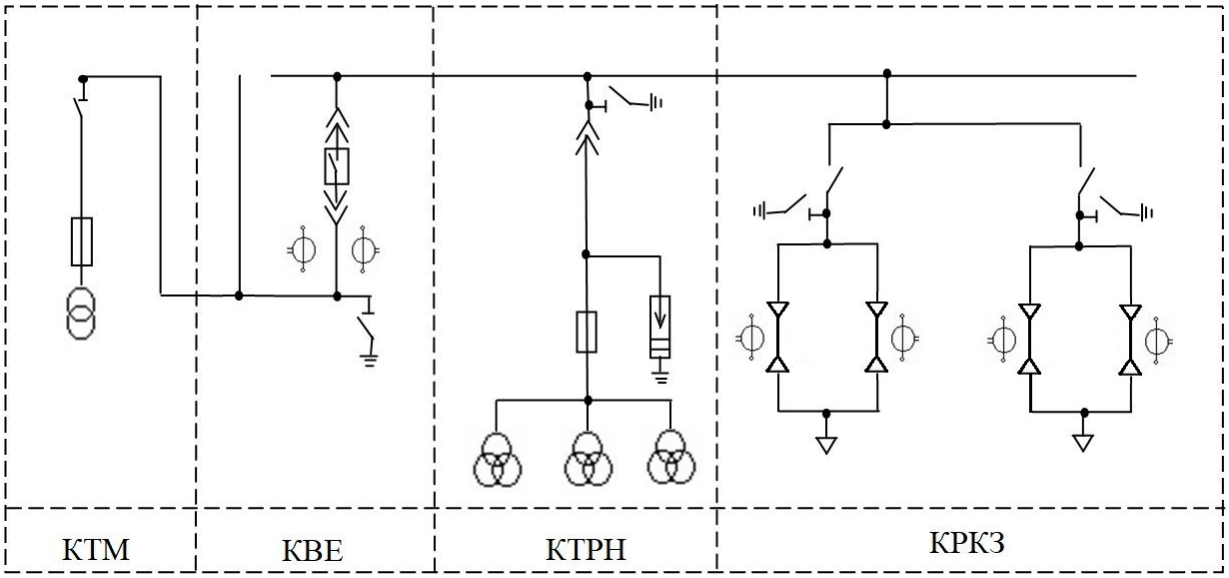



Рис. 11.6. Схема первинних з'єднань примикаючого пункту ППП-10/1000

Розподільний пристрій 2КВЭ-6 призначений для керування двигунами перетворювальних агрегатів екскаваторів ЭКГ-4,6А і ЭКГ-5. На відміну від розподільчих пристроїв, описаних вище, 2КВЭ-6 обладнаний масляним вимикачем ВМЭ-6 спеціального виконання для екскаваторів (вимикач масляний екскаваторний на 6 кВ).

## 11.3. Рудникові комплектні розподільчі пристрої

Шахтні КРП призначені для комплектування з них РУ-6 кВ, для використання їх у виді одиночних розподільчих пунктів у підземних виробках. Шахтні КРП служать для розподілу електричної енергії напругою 6 (10) кВ, частотою 50 Гц, захисту електричних мереж і керування електроприймачами, розташованими в підземних виробках шахт.

Відповідно до ПБ і ЕПБ, КРП повинні забезпечувати наступні види керування, захисту, сигналізації, виміру і блокувань:

- оперативне місцеве вмикання і вимикання приєднання за допомогою кнопок, встановлених на шафі КРП; оперативне дистанційне вмикання і відключення вимикання;

- закорочення і заземлення приєднань, що відходять до споживача, при вимкненні роз'єднувачів (у шафах виходів до споживачів КРП);

- мінімальний захист;

- захист від струмів КЗ;

- захист від струмів перевантаження і захист асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором від пускових струмів неприпустимої тривалості;

- захист від втрати керованості при замиканні або обриві жил дистанційного керування;

- підключення зовнішніх додаткових захисних пристроїв (захист від замикань на землю, неповнофазних і несиметричних режимів, газового захисту та ін.);

- місцеву (механічну і світлову) і дистанційну (світлову) сигналізацію про ввімкнене та вимкнене положення вимикача;

- сигналізацію про спрацьовування максимального струмового захисту і блокувального реле витоку;

- вимірювання струму і напруги в силових колах;

- функціональну перевірку справності максимального струмового захисту та блокувального реле витоку;

- блокування проти повторного вмикання при відмові механізму, що утримує вимикач у ввімкненому положенні;

- електричне блокування проти подачі напруги на приєднання, що відходить до споживача, з опором витоку нижче норми, а також при відключенні захистом від надструмів;

- автоматичні однократні повторні вмикання (АПВ) і введення резерву (АВР);

- можливість введення заборони АПВ і АВР при спрацьовуванні захисту від надструмів;

- вивід при необхідності мінімального захисту;

- автоматичне введення резерву в КРП із двома і трьома введеннями;

- можливість жорсткої комплектації КРП із будь-яким числом введень.

Нині на шахтах, небезпечних за газом або пилом, експлуатують КРП типів КРПВ-6, ЯВ-6400, РВД-6, а на шахтах, безпечних за газом і пилом – КРП типу КРУРН-6 або ВЯП-6. КРУВ-6 випускають чотирьох типів: ввідними (шифр виробу В); секційними (С); відходячих приєднань (ОП); відходячих приєднань з вбудованим трансформатором струму нульової послідовності (ОТ).

Незважаючи на те, що електрообладнання з маслонаповненими апаратами давно виведені з шахт, на діючих шахтах в наш час широко використовують КРП типу РВД з баковим масляним вимикачем типу ВМБ-10.

КРП РВД-6 мають два варіанти виконання: відходячого приєднання – РВД-6-0 і ввідного приєднання – РВД-6-В. Вони відрізняються тільки електричною частиною: КРП типу РВД-6-0 містять блокувальне реле витоку і пристрій, що шунтує максимальні реле на час пуску потужних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором щоб уникнути спрацьовування максимального струмового захисту від пускового струму електродвигуна.

Розглянемо роботу КРП РВД-6-0 (рис. 11.7). При подачі напруги на шини КРП вмикаються реле часу КТ і реле К. Їхні контакти К3.3, КТ.1 і К3.1, К.3.2, замикаючись, готують кола відповідно реле К2 і двигуна М моторно-пружинного приводу масляного вимикача QF. В колі котушки реле керування К1 проходить струм, але він недостатній для спрацьовування реле, тому що сила струму обмежена резистором R3.

При натисканні кнопки SB1 поста керування резистор R3 закорочується, і реле К.1 вмикається. Його контакт К1.1 в колі шунтуючого резистора R2 розмикається, внаслідок чого струм у котушці реле збільшується, і воно залишається ввімкненим після відпускання кнопки SB1. Контакт К1.2 вмикає реле напруги KV. При замиканні його контакту KV.2 спрацьовує реле К2. Контактом К2.1 воно самоблокується, контакт К2.2 вмикає двигун приводу М, контакти К2.3 і К2.4 шунтують за допомогою резисторів $R_ш$ обмотки максимальних реле КА1 і КА2 і амперметр (що необхідно при використанні КРП для вмикання асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором), контакт К2.5 замикає коло неонової лампи HL2, контакт К2.6 вимикає реле часу КТ.

Двигун М зводить привод і вмикає масляний вимикач. При цьому переключаються контакти SQ1-SQ6, механічно зв'язані з приводом. Контакти SQ2 і SQ5 розмикаються, вимикаючи двигун М і реле К3. Контакт SQ1 замикається, готуючи коло соленоїда відключення YA. Контакт SQ6 замикає коло сигнальної лампи HL1 в пості керування.

Реле КТ має витримку часу при вимиканні 6-10 с, тому що паралельно котушці реле приєднаний конденсатор С1. Після розмикання контакту КТ.1 реле К2 вимикається. В результаті вимикаються шунти $R_ш$, згасає лампа HL2, і включається реле КТ. Контакт його КТ.1 у колі реле К2 замикається, але реле не спрацьовує, оскільки розімкнутий контакт К3.3.

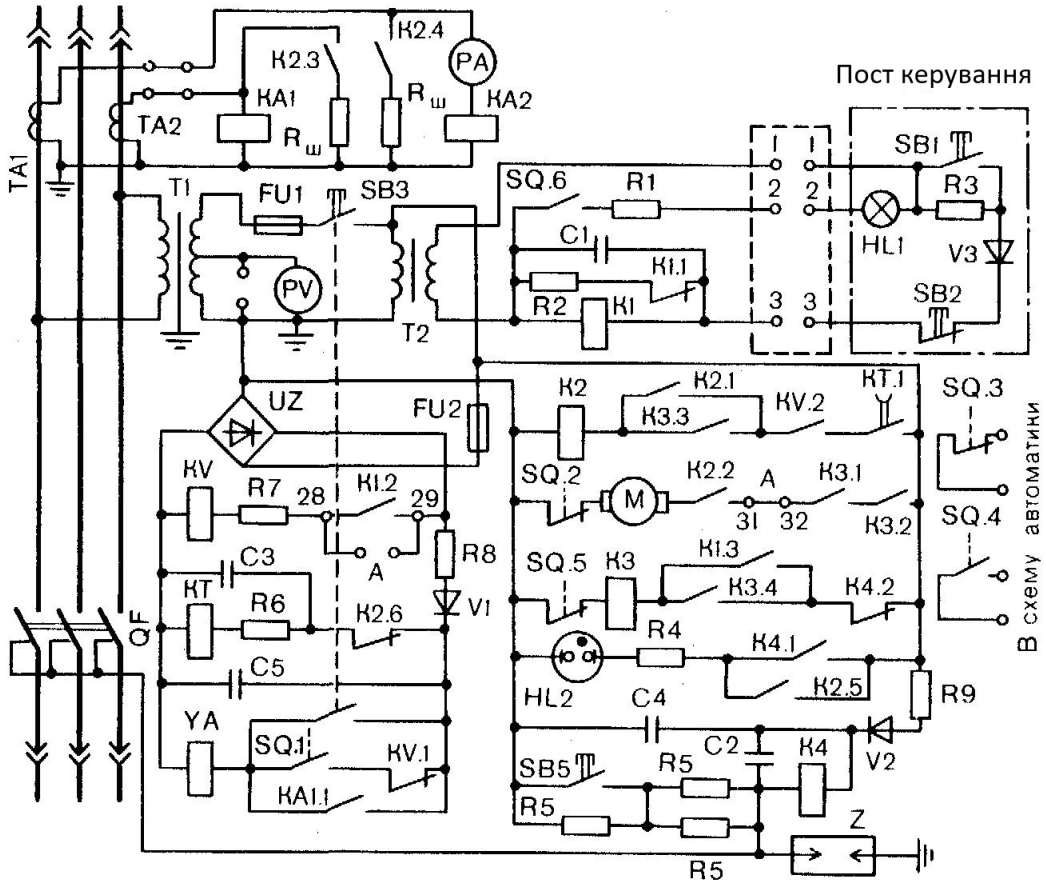



Рис. 11.7. Принципова електрична схема КРП відходячого приєднання РВД-6-О

КРП вимикається натисканням кнопки SB2. При цьому вимикається реле К1, і його контакт К1.2 вимикає реле напруги KV, що контактом KV.1 вмикає соленоїд YA. Соленоїд, впливаючи на механізм вільного розчеплення, вимикає масляний вимикач QF. Реле KV вимикається при зниженні напруги нижче 60% від номінальної.

При ручному керуванні КРП (за допомогою ручки) необхідно перемичку *А* переставити з затискачів 31, 32 на затискачі 28, 29.

Стан ізоляції ділянки мережі, що відходить від КРП, контролюється за допомогою реле витоку К4, що спрацьовує при зниженні опору ізоляції до 80 кОм. Контакт К4.2 в колі реле К3 розмикається, і воно не може бути ввімкнено. Контакт К4.1 замикає коло сигнальної лампи HL2.

В шахтах використовується також незначна кількість КРП типу ЯВ-6400. В вибухобезпечних КРП ЯВ-6400 використаний повітряний автоматичний вимикач

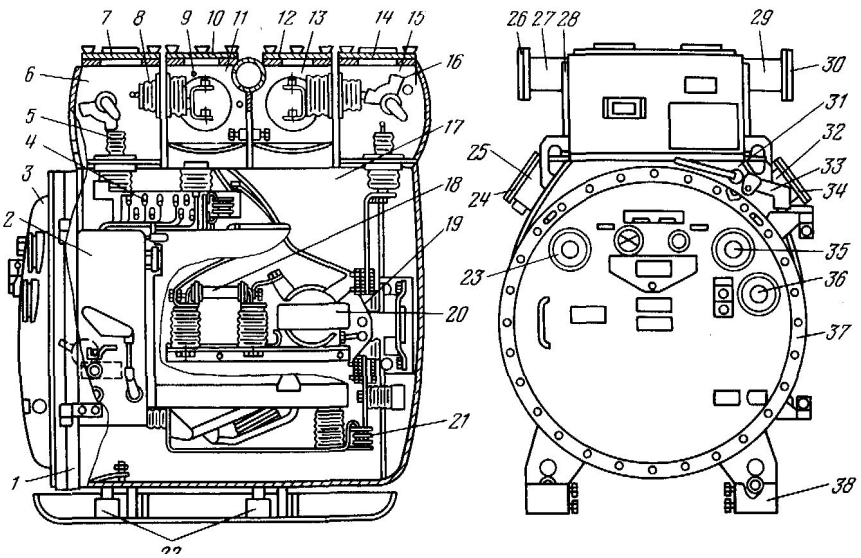
ВС-6400 з електромагнітним гасінням дуги, який має механізм вільного розчеплення і пружинний привод, що зводиться вручну або за допомогою електромагніта.

КРУВ-6 виконано вибухонепроникним з іскробезпечними колами дистанційного керування, має вибухобезпечний рівень вибухозахисту і маркування по вибухозахисту РВ-4В. Конструкція оболонки забезпечує ступінь захисту IP54. КРУВ-6 може бути використаним в умовах, нормованих для виконання ХЛ категорії розміщення 5 по ДСТУ.

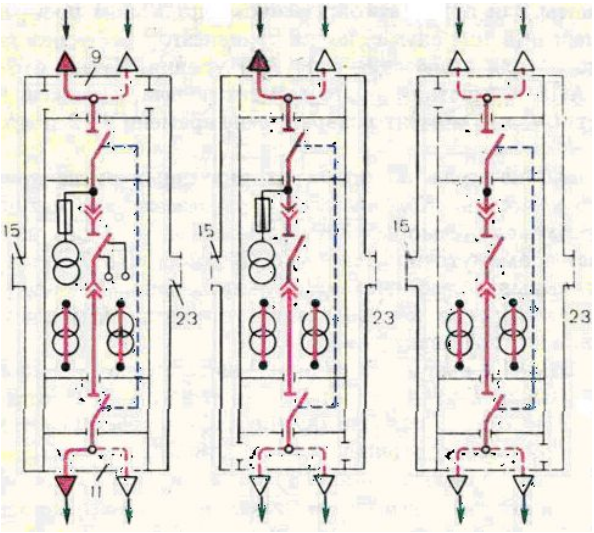
Кабельні вводи шаф допускають приєднання силових кабелів з перерізом жил до 240 мм$^2$ і контрольних кабелів із зовнішнім діаметром до 25 мм, а кабельні вводи пультів дистанційного керування – контрольних кабелів із зовнішнім діаметром від 18 до 30 мм.

У конструктивному відношенні шафи вводу, секційно і відходячих приєднань у КРУВ-6 аналогічні (рис. 11.8, а), мають однакові габаритні та приєднувальні розміри і відрізняються одна від одної в основному тієї апаратурою, що встановлена всередині (рис. 11.8, б).

Кожна шафа (рис. 11.8, а) складається з наступних елементів: вибухонепроникного корпусу 1, розділеного на відсіки (камери). У верхній частині корпуса знаходяться камери вводу 11 і 13 і камери роз'єднувачів 6 і 15. В нижній частині знаходиться камера 17 силового вимикача з розташованими на ній коробками вторинних кіл 25 і 32. Камера вимикача закривається дверима 3, на яких з внутрішнього боку встановлені блоки керування і захисту. Всі коробки і камери розділені між собою вибухонепроникними перегородками і закриті кришками 7, 10, 12, 14, 24, 34. У ввідних коробках розташовані прохідні ізолятори 8 із приєднаними затискачами 9, 16, до яких приєднують кабелі або шинні перемички. На бічних поверхнях цих камер знаходяться шанці 28, до яких приєднують кабельні вводи. Труби вводів 27 і 29, закриті кришками 26 і 30, з'єднані з камерами вікнами.




а)




б)

Рис. 11.8. Конструкція шафи КРУВ-6 (а) і електричні схеми силових кіл відповідно шаф відходячого приєднання, ввідного і секційного (б). Цифрами позначено: 1 – корпус; 2 – силовий вимикач; 3 – двері камери вимикача; 4 – прохідні затискачі; 5 – роз’єднувач; 6, 15 – камери роз’єднувачів; 7, 10, 12, 14, 24, 34 – кришки; 8 – прохідний ізолятор; 9, 16 – затискачі; 11, 13 – камери вводу; 17 – камера силового вимикача; 18 – запобіжник в колі 6 кВ; 19 – трансформатор струму; 20 – трансформатор напруги; 21 – штепсельний роз’єм; 22 – гвинтовий домкрат; 23, 35 – вікна для контролю показів приладів; 25, 32 – коробки вторинних кіл; 26, 30 – кришки труб вводів; 27, 29 – труби вводів; 28 – шанці; 31 – блокувальний диск; 33 – фіксатор; 36 – вікно для спостереження за положенням вимикача; 37 – блокувальне кільце; 38 – салазки

В ввідній шафі труби 27 і 29 з'єднані з камерою 13, у шафі приєднань, що відходять до споживача – з камерою 11, а в секційній шафі труба 27 – з камерою 11, труба 29 – з камерою 13. Роз'єднувачі 5 створюють замкнене коло через струмоведучі стрижні прохідних ізоляторів 8. Для закорочення і заземлення вихідних приєднань встановлені контакти 16, які у ввідній і секційній шафах відсутні. Для візуального огляду положення ножів роз'єднувачів на кришках камер є оглядові вікна. Камера 17 вимикача містить наступні елементи: силовий вимикач 2; трансформатори: струму – 19, напруги – 20; запобіжник у колі 6 кВ – 18 і ошиновку. Для вкочування і викочування вимикача на бічних стінках камери встановлені направляючі, а з'єднання вимикача з ошиновкою шафи виконують штепсельні роз’єми 21. Для досилання вимикача в кінцеве положення служить ексцентричний фіксатор. У верхній частині камери 17 розташовані прохідні затискачі 4 кіл вторинної комутації і роз'єднувач вторинних кіл.

Привод роз'єднувачів кіл первинної комутації механічно зблокований із роз'єднувачем вторинних кіл (вмикання першого приводить до вмикання другого, і навпаки). На передню стінку корпуса з зовнішньої сторони виведено вал приводу роз'єднувачів, на кінці якого є блокувальний диск 31 із квадратним отвором для прийому ручки керування і фіксатор 33 для блокування роз'єднувачів із силовим вимикачем і дверима. У шафах з шифром ОТ в камеру вимикача вбудований також трансформатор струму нульової послідовності типу ТЗЛМ. В нижній внутрішній частині дверей 3 розташована вилка приводу ручного вмикання вимикача. З зовнішньої сторони дверей розташовані: кнопки керування, оперативні і попереджувальні написи, оглядове вікно для контролю за показаннями приладів 23 і 35 і для візуального спостереження за положенням вимикача 36. Блокувальне кільце 37 служить для блокування болтів кріплення дверей до корпуса. Корпус шафи встановлений на салазках 38, в яких на кожному полозі для жорсткої комплектації шаф укріплено по два гвинтових домкрата 22.

Шафи КРУВ обладнані блокувальним комплексом, що складається з двох основних блокувань: роз'єднувачі-вимикач і роз'єднувачі-двері. При ввімкненому

вимикачі не можна вимкнути роз'єднувачі, при ввімкнених роз'єднувачах не можна відчинити двері, при відкритих дверях не можна ввімкнути роз'єднувачі. П'ять сигнальних ламп дозволяють одержати наступну інформацію: «Блокування», «Вимикання», «Вмикання», «Аварія», «Витік».

В КРУВ-6 встановлюють вимикач електромагнітний, повітряний, ВЭВ-6-16/630-ХЛ5, з вбудованим пружинним приводом, електромагнітами керування й елементами захисту (на номінальну напругу 6 кВ; номінальний струм вимикання 16 кА; номінальний струм 630 А). Вимикачі випускають у двох виконаннях: для установки у ввідні і секційні шафи і для установки в шафи відходячих приєднань. В першому виконанні вимикач має по вісім замикаючих і допоміжних розмикаючих контактів, а в другому – по шість. Головна відмінність другого виконання – установка панелі короткозамикача. Власний час вимикання вимикача з приводом складає 0,06 с, а повний час вимикання вимикача при спрацьовуванні максимального струмового захисту – не більш 0,19 с.

Створений на базі КРУВ-6 комплектний розподільчий пристрій КРУРН-6 у рудниковому нормальному виконанні забезпечує ті самі функції, комплектується таким самим силовим вимикачем, але має прямокутну форму шафи з габаритами 1400х800х1800 мм і масу до 890 кг. Пульт дистанційного керування, що поставляється в комплекті, дозволяє керувати силовими вимикачами КРП на відстані до 3 км при перерізі жил керування 2,5 мм$^2$, а також сигналізувати про положення вимикачів.

Кабельні вводи дозволяють використовувати як броньовані кабелі, так і кабелі марки ЭВТ. Для перших допускається як їхнє суха обробка, так і обробка з заливанням компаундом. Конструкція ввідних пристроїв дозволяє вводити кабель під кутом 40$^o$ вниз до горизонту ,а кабель, що відходить, припустимо монтувати під кутом 80$^o$ вгору до горизонту. До кожної шафи може бути одночасно приєднано по два живлячих і кабелі виходів. Кабельні вводи можуть бути трьох виконань для різного діаметра кабелю.

В основу схеми керування і захисту КРУВ-6 всіх виконань покладені однотипні функціональні пристрої, причому за базову прийнята схема ввідної шафи КРУВ-6В. У КРУВ-6 ОП в схему додано блокувальне реле витоку (БРВ) і два реле непрямої дії, що разом із реле часу забезпечують захист від перевантаження. В схему додана також сигнальна лампа про спрацьовування БРВ, пристрій перевірки БРВ і максимального струмового захисту. В схемі секційного КРУВ-6 знаходиться пристрій пуску АВР і спеціальне реле, що запобігає паралельній роботі трансформаторів напруги. Для забезпечення однократного АВР використано пристрій АПВ, таке саме, як і в шафах КРП інших виконань. У секційного КРП трансформатор напруги в схемі відсутній, тому що він одержує живлення від трансформаторів напруги ввідних КРП.

Принципові електричні схеми оперативного керування шафами КРУВ-6 (рис. 11.9) аналогічні як при місцевому, так і при дистанційному видах керування. Основним виконавчим елементом схеми є реле К1.1 із двома обмотками, ввімкненими назустріч. В нормальному режимі робота схеми здійснюється в такий спосіб: при поданій напрузі в півперіод, коли діод V6 відкритий, струм протікає через верхню обмотку реле (по стрілці нагору), але електромагнітної сили, яка створюється верхньою обмоткою, недостатньо для спрацьовування реле. В інший півперіод, коли зазначений діод закритий, струм протікає через дві назустріч з'єднані обмотки реле (по стрілці вниз). В зв'язку з тим, що струми в обмотках рівні, то електромагнітна сила дорівнює нулю. При натисканні на кнопку S5 (вмикання) у півперіод, коли діод V7 відкритий, через нього і нижню обмотку реле протікає струм (по стрілці вниз). І в цей самий півперіод по верхній обмотці реле (по стрілці нагору) протікає струм, створений ЕРС самоіндукції, що замикається через діод V7. Ці струми створюють сумарну електромагнітну силу, цілком достатню для спрацьовування реле К1.1. Після вмикання вимикача замикаючим допоміжним контактом Q2.4 буде зашунтована верхня обмотка реле і схема перетвориться в схему з паралельно з’єднаними обмотками реле і діодом V6. У такому стані схеми струм від джерела живлення проходить по нижній

обмотці реле (по стрілці вниз) у той півперіод, коли діод V6 закритий. В інший півперіод по цій обмотці протікає струм, створений ЕРС самоіндукції, що замикається через діод V6. Значення струму, що протікає, цілком достатньо для утримання реле в увімкненому положенні. Вимикання виконується при натисканні кнопки S4.

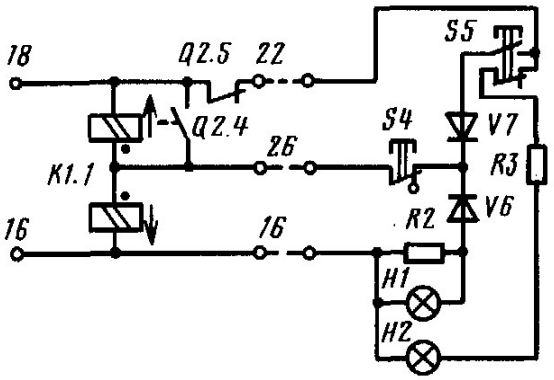



Рис. 11.9. Принципова електрична схема оперативного керування шафами КРУВ-6

Електричні схеми керування і захисту шаф із шифрами В, С и ОТ в основному аналогічні електричній схемі шафи відходячих приєднань, відмінністю є призначення і відсутність або наявність окремих специфічних елементів схеми.

Промисловість випускає вибухобезпечний розподільчий пристрій УК-6 з вакуумним вимикачем. Привод вимикача електромагнітний, МСЗ з дешунтуванням двох максимальних розчеплювачів прямої дії, тобто з дією струму КЗ через трансформатор струму безпосередньо на механізм вільного розчеплення вакуумного вимикача.

Реле БРВ аналогічне реле в КРУВ-6, але через відсутність в вакуумній камері додаткового виводу БРВ приєднується до мережі за допомогою резисторів та вакуумних малогабаритних комутаторів, що з’єднані за схемою “зірка”. Схема дистанційного керування УК-6 має іскробезпечні кола на двообмотковому реле, АПВ та АВР виконані аналогічно КРУВ-6.

Засоби релейного захисту й автоматики ПКРН-6ВМ передбачають: максимальний струмовий захист; захист мінімальної напруги; захист від

однофазних замикань на землю; захист, що запобігає вмиканню кабелю, що виходить до споживача, у випадку однофазного витоку (однофазного замикання) на землю; можливість дистанційного вимкнення з кабіни екскаватора; контроль цілісності заземлюючої жили кабелю, що захищається; на випадок помилкової дії захисту від замикання на землю – однофазне автоматичне повторне ввімкнення; роботу електромагнітного приводу вимикача від вбудованого в шафу джерела оперативного струму.

## Контрольні запитання

*1. Охарактеризуйте комплектні розподільні пристрої, їх призначення, основні види виконання та сітку схем КРП.*

*2. Які особливості мають комплектні розподільні пристрої в рудниковому виконанні?*

*3. Яке призначення та функції комірки ЯКНО-6?*

# ЛЕКЦІЯ 12. Електричне освітлення

12.1. Загальні положення.

12.2. Основні світлотехнічні величини.

12.3. Характеристика джерел світла.

12.4. Лампи розжарювання.

12.5. Газорозрядні джерела світла.

12.5.1. Загальні ососбливості газорозрядних джерел світла.

12.5.2. Люмінесцентні лампи.

12.5.3. Способи запалювання люмінесцентних ламп.

12.5.4. Дугові ртутні лампи.

12.5.5. Дугові лампи високого тиску.

## 12.1. Загальні положення

Понад 95 % всієї зовнішньої інформації людина отримує за допомогою органів зору, ефективна робота яких можлива тільки в умовах світлового поля необхідної інтенсивності та якості. За інтенсивністю світлове поле повинно бути вище порогу чутливості приймача світлової енергії (ока), але нижче порогу його больового ефекту. Якісні характеристики світлового поля в основному визначають якість сприйняття інформації. Створення необхідного світлового клімату для ефективного сприйняття зорової інформації – головна задача освітлення, в тому числі і штучного електричного.

Раціональне електричне освітлення є одним з важливих факторів підвищення безпеки, продуктивності праці, покращення санітарно-гігієнічних умов, якості виконуваних робіт, покращення умов спостереження, наприклад, за машинами, за закріпленням підземних гірничих виробок.

Під раціональним освітленням розуміють таке, при якому на робочих місцях забезпечується необхідна для нормальної роботи освітленість, відсутня

засліплююча дія світла, немає різких коливань світлового потоку, відсутній різкий перехід від світла до тіні, має місце нормальне відтворення кольору об’єкта.

При організації освітлення на гірничих підприємствах необхідно приймати до уваги:

1. В підземних виробках:

- обмежений простір виробок, їх мала висота;
- неможливість використання денного світла;
- наявність буровибухових робіт;
- постійне пересування фронту гірничих робіт та ін.

2. На кар’єрах:

- освітлення повинно бути ефективне в будь-яку погоду: в дощ, сніг, за наявності туману, при великій запиленості повітря в вибоях;
- освітленню підлягають великі площі;
- постійно змінюється конфігурація та глибина кар’єру.

При вирішенні питань освітлення основними задачами повинні бути: створення рівномірної освітленості всіх робочих місць у відповідності з вимогами Правил безпеки та Правил технічної експлуатації, використання мінімальної кількості світильників, транспортабельність та мобільність освітлювальних установок, забезпечення їх надійності та довговічності.

В Правилах безпеки для гірничих підприємств наведені відповідні норми на освітлення і відповідні місця, де повинне бути освітлення.

Проектування освітлювальних установок полягає в розробці двох розділів: світлотехнічного та електротехнічного.

В світлотехнічному розділі вибирають джерела світла, світильники, намічають найбільш доцільну висоту їх установки та розміщення в просторі, визначають якість і характеристики освітлювальних установок.

При проектуванні освітлювальних установок важливим фактором є правильний вибір необхідної освітленості робочих місць. Для цього розроблені санітарні норми промислового освітлення. Вони розроблені на основі

класифікації робіт за кількісними ознаками, зокрема за найменшим розміром деталей, що повинні розрізнятись.

В залежності від характеру зорової роботи встановлено вісім її розрядів. При розмірі деталей менше 0,5 мм (відстань до ока 0,5 м) робота відноситься до розряду I, при більших розмірах – відповідно до розрядів II-VI (для останнього розряду розрізняються деталі більше 5 мм). До розряду VII відносяться роботи, де освітленість необхідна для зменшення контрасту між деталями, що світяться, і фоном. Розряд VIII відноситься до робіт, де вимагається лише загальне спостереження за виробничим процесом.

До показників якості освітлення відносяться показники, що обмежують блискучість освітлювальних приладів – показник засліпленості для виробничих приміщень і відкритого простору та показник дискомфорту для громадсько-адміністративних будівель. Показник засліпленості не повинен перевищувати значення 20 одиниць для I та II розрядів робіт при постійній присутності людей в приміщенні; 40 – для III, IV, V, VII розрядів при постійній присутності і 60 при періодичній; 60 – для VI та VIII розрядів при постійній присутності і 80 – при періодичній. Що до показника дискомфорту, то для більшості приміщень муніципальних будівель він не повинен перевищувати значення 40-60.

На базі цих СНІП розробляються галузеві норми, в яких крім рівня освітленості наводяться додаткові вимоги: яка система освітлення більш доцільна, в якій площині нормується освітленість (горизонтальній, вертикальній), який коефіцієнт запасу необхідно приймати та ін.

За способом розміщення світильників в виробничих приміщеннях або на відкритих просторах розглядають системи: загального, місцевого та комбінованого освітлення.

Системи загального освітлення призначені для освітлення всього робочого простору і розташованих там робочих місць. Система загального освітлення може бути рівномірною, коли по всьому приміщенню чи робочому просторі

створюється однакова освітленість та локалізованою, коли в різних зонах створюється різна освітленість.

Загальне рівномірне освітлення використовується при рівномірному розташуванні обладнання на площині робочого простору. Загальне локалізоване освітлення передбачається, коли в різних зонах робочого простору проводяться роботи, що вимагають різної освітленості, а робочі місця зосереджені групами. При цьому скорочується потужність освітлювальної установки. В той самий час, таке освітлення характеризується великою нерівномірністю розподілу яскравості поверхонь, що потрапляють в поле зору працівників.

Місцеве освітлення передбачається на окремих робочих місцях (машинах, екскаваторах) і виконується освітлення приладами встановленими безпосередньо на робочих місцях.

Системи загального і місцевого освітлення, що використовуються разом, створюють систему комбінованого освітлення.

При створенні необхідної освітленості на робочих місцях може використовуватись тільки загальне освітлення, але тільки місцеве освітлення без загального використовуватися не може (різкий перехід від світла до тіні).

Штучне освітлення за функціональним призначенням ділиться на: робоче, аварійне, евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації) та охоронне.

Робоче освітлення створює потрібну нормальну освітленість забезпечуючи необхідні умови праці при нормальному режимі роботи.

При згасанні робочого освітлення повинне вмикатися аварійне освітлення, яке може бути використано для продовження роботи або для евакуації людей.

Аварійне освітлення для продовження роботи повинно виконуватись в приміщеннях або робочих просторах, де раптове вимкнення робочого освітлення може призвести до тяжких наслідків для людей та технологічного обладнання. При цьому освітленість повинна бути не менше 5% від загального освітлення, але не менше 5 люксів в приміщеннях підприємств і 1 люкс для зовнішньої території підприємства.

Евакуаційне освітлення в місцях проходу людей повинно мати освітленість не менше 0,5 люкса в приміщеннях і 0,2 люкса на відкритому місці.

На підприємствах з переривчастим режимом роботи за відсутності роботи (вихідні дні, тощо) повинно бути охоронне освітлення для несення чергування протипожежної та воєнізованої охорон. Воно повинно забезпечувати освітленість не менше 0,5 люкса на рівні землі або на рівні 0,5 м від землі на одній стороні вертикальної площини, що розміщена перпендикулярно кордону.

Світильники аварійного освітлення повинні мати незалежне джерело живлення. Допускається живлення світильників аварійного освітлення від мережі робочого освітлення за наявності автоматичного перемикання на аварійне джерело живлення.

## 12.2. Основні світлотехнічні величини

Тіло, що світиться, надсилає в навколишній простір електромагнітну енергію великого діапазону частот, частина яких діє на людське око і викликає в нього відчуття світла.

Ця частина є незначною порівняно з повним спектром електромагнітного випромінювання. Частина спектра, що носить назву області видимого випромінювання, чи видимого спектру включає випромінювання з довжиною хвилі від 0,4 мкм (фіолетова частина видимого спектру) до 0,76 мкм (червона частина видимого спектру). Між ними розташовані всі проміжні кольори: синій, зелений, жовтий, оранжевий та їх відтінки.

Внаслідок вибіркової чутливості ока до окремих ділянок видимого спектру, випромінювання однієї потужності але різної довжини хвилі, спричиняє на очі неоднаковий за інтенсивністю вплив. Найбільш чутливі наші очі до жовто-зеленого випромінювання з довжиною хвилі $\lambda$ = 0,55 мкм, що знаходиться в середній частині видимого спектру. В міру наближення до обох кінців спектру чутливість ока різко падає. Цю залежність характеризують величиною, що носить

назву “видність”. Вона може бути абсолютною та відносною. Абсолютна видність (світлова ефективність) являє собою відношення світлового потоку до відповідної повної потужності променистого потоку

$$V = \frac{\Phi}{\Phi_E}, \qquad (12.1)$$

де V – видність; Ф – світловий потік, лм; $\Phi_E$ – променистий потік, Вт.

Оскільки видність на окремих ділянках спектру різна, то використовують поняття відносної видності $K_\lambda$, що являє собою відношення видності даної довжини $V_\lambda$ хвилі до максимальної $V_{\max}$:

$$K_\lambda = \frac{V_\lambda}{V_{\max}}. \qquad (12.2)$$

Крива відносної видності (рис. 12.1) прийнята для вибору світлових величин та їх одиниць. На ній за одиницю прийнята чутливість ока до жовто-зеленого випромінювання, для синього випромінювання (λ = 0,46 мкм) чутливість дорівнює 0,06, а для червоного (λ = 0,65 мкм) – 0,107. Звідси стає зрозуміла роль кольоровості випромінювання різних джерел світла.

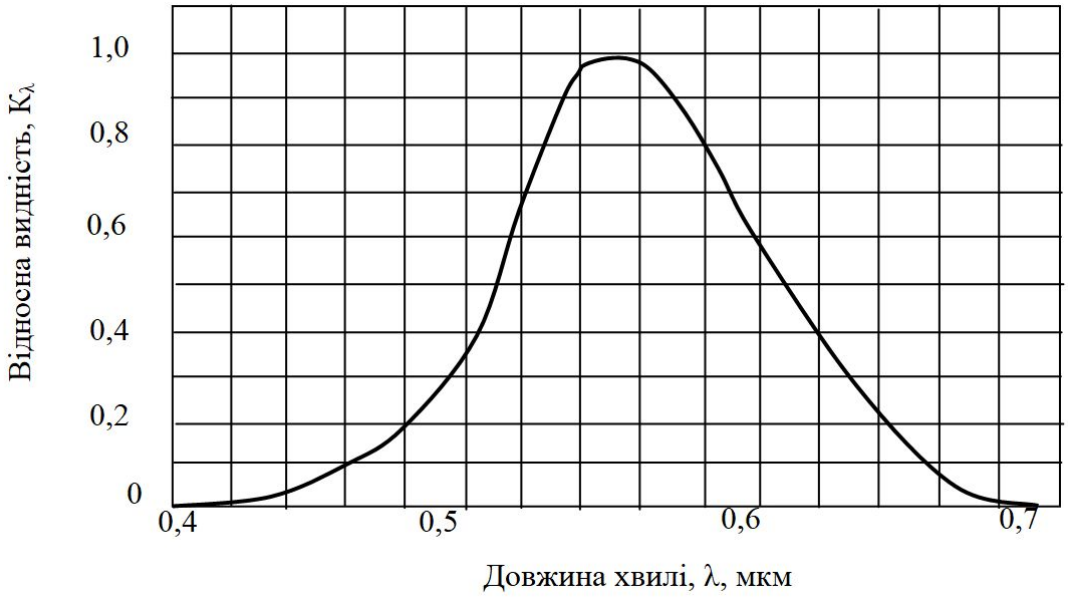



Рис. 12.1. Крива відносної видності

Відношення частини енергії випромінювання, що сприймається очима, до загальної енергії випромінювання називається енергетичним коефіцієнтом корисної дії ($\eta_{ен}$). Цей коефіцієнт корисної дії однаково оцінює всі випромінювання, що знаходяться в видимій частині спектру. Між тим, чутливість ока, як уже зазначалося, неоднакова для різних кольорів. Тому для характеристики зорового відчуття необхідно ввести корекцію, що враховує інтенсивність зорового відчуття в залежності від кольору випромінювання.

Відношення енергії видимого випромінювання, скорегованої до чутливості ока, до повної енергії випромінювання називається світловим коефіцієнтом корисної дії ($\eta_{св}$).

Кількість світла, що випромінюється точковим джерелом в одну секунду називається світловим потоком (Ф), тобто він визначається потужністю променистої енергії, що сприймається очима.

Одиниця випромінювання світлового потоку є люмен (лм). Один люмен – світловий потік, що випромінюється з поверхні абсолютно твердого тіла S = 0,5305 мм$^2$ за температури затвердіння платини T = 2046 К.

Світловий потік, що випромінюється джерелом світла, розподіляється в різних напрямках простору. Кутова або просторова щільність світлового потоку називається силою світла, тобто сила світла дорівнює світловому потоку, який приходиться на одиничний тілесний кут. При рівномірному розповсюдженні світлового потоку в межах тілесного кута сила світла

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \qquad (12.3)$$

де $\Phi$ – світловий потік, лм; $\omega$ – тілесний кут, ср.

При цьому одиницею сили світла є кандела (кд).

Кандела дорівнює силі світла точкового джерела, що випромінює світловий потік в 1 лм всередині тілесного кута в один стерадіан (ср).

Один стерадіан – це такий тілесний кут, який опирається на площу частини поверхні сфери (S), яка дорівнює квадрату радіуса сфери, тобто S = R$^2$, тоді в сфері розміщується 4π стерадіан.

Поверхнева щільність світлового потоку чисельно дорівнює світловому потоку, що падає на одиницю площі, яка освітлюється даним джерелом світла і називається освітленістю (E)

$$E = \frac{\Phi}{S}. \qquad (12.4)$$

де $\Phi$ – світловий потік, лм; $S$ – площа, що освітлюється, м$^2$.

Одиниця освітленості – люкс (лк) чисельно дорівнює одному люмену на квадратний метр (лм/м$^2$).

Відношення світлового потоку $\Phi$ до площі поверхні $S$, що його випромінює, називають світимістю (M):

$$M = \frac{\Phi}{S}. \qquad (12.5)$$

Одиницею світимості – люмен на м$^2$ (лм/м$^2$).

Відношення сили світла до видимої в даному напрямку площі поверхні, що світиться, називається яскравістю (L)

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos\alpha}. \qquad (12.6)$$

де $I$ – сила світла, кд; $S$ – площа поверхні, м$^2$; $\alpha$ – кут падіння світла на поверхню, градуси.

Одиницею яскравості є кандела на квадратний метр (кд/м$^2$). Чим більше сила світла та чим менша видима поверхня тіла, що світиться, тим більше яскравість в даному напрямку. Надмірна яскравість шкідливо діє на зір. Тому яскраві джерела світла доводиться вміщувати в спеціальну арматуру або в напівпрозорі, матові чи молочні ковпаки.

У випадку точкового джерела світла, розміри якого відносно відстані від джерела до освітлювальної поверхні малі, світловий потік у всі сторони випромінюється рівномірно.

Реальні джерела світла не є точковими джерелами, тобто випромінюване світло нерівномірно розподіляється в просторі, тому для реальних джерел характерними є криві розподілу сили світла, що будуються в полярній системі

координат, а оскільки більшість джерел є симетричними, то будується половина поздовжньої кривої сили світла. Приклад кривої розподілу сили світла показаний на рис. 12.2.

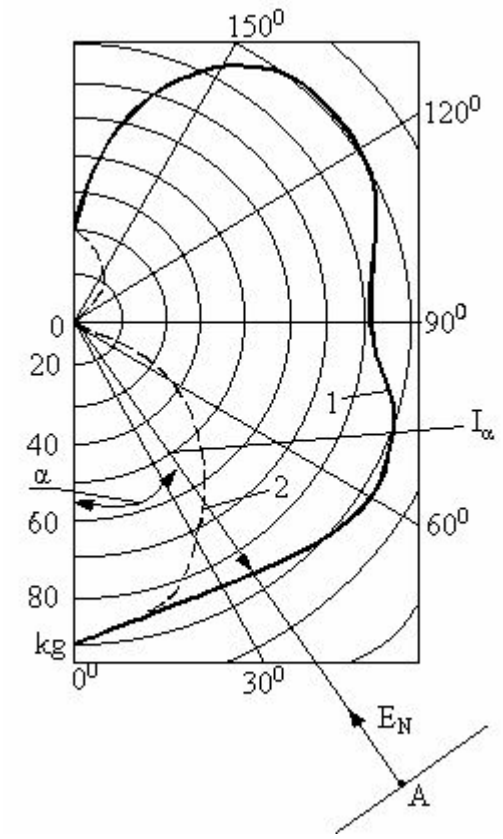



Рис. 12.2. Криві сили світла світильника РВЛ:
1 – в поперечній площині; 2 – в повздовжній площині.

Крива розподілу сили світла створюється кінцями радіус-векторів, довжина кожного з яких чисельно дорівнює силі світла в даному напрямку, а початок розташований в центрі джерела світла. Криві розподілу сили світла будуються для умовної лампи із світловим потоком 1000 лм. На нормально розташованій до променя під кутом α площині створюється освітленість

$$E_N = \frac{I_\alpha}{r^2}, \qquad (12.7)$$

де r – радіус-вектор OA (рис. 12.2).

Світловий потік, що падає на яку-небудь поверхню, в залежності від її властивостей може повністю чи частково відбиватися, поглинатися або

пропускатися нею. Відповідно поверхня характеризується коефіцієнтами відбиття (ρ), поглинання (α) та пропускання (τ).

Коефіцієнт відбиття – відношення відбитої частини світлового потоку $\Phi_{\text{відб.}}$ до падаючого на поверхню $\Phi_{\text{пад.}}$:

$$\rho = \frac{\Phi_{\text{відб.}}}{\Phi_{\text{пад.}}}. \qquad (12.8)$$

Відповідно, коефіцієнт поглинання визначається через поглинуту частину потоку $\Phi_{\text{погл.}}$:

$$\alpha = \frac{\Phi_{\text{погл.}}}{\Phi_{\text{пад.}}}, \qquad (12.9)$$

а коефіцієнт пропускання – через частину потоку $\Phi_{\text{проп.}}$, що пройшла крізь поверхню:

$$\alpha = \frac{\Phi_{\text{проп.}}}{\Phi_{\text{пад.}}}. \qquad (12.10)$$

Оскільки $\Phi_{\text{пад.}} = \Phi_{\text{відб.}} + \Phi_{\text{погл.}} + \Phi_{\text{проп.}}$, то $\rho + \tau + \alpha = 1$.

Гірські породи мають низький коефіцієнт відбиття (0,1 ÷ 0,37), ще нижчі значення його має вугілля (0,02 ÷ 0,08). Це показує, що в підземних виробках світловий потік використовується слабо, що вимагає збільшення кількості світильників та витрат на освітлення. Очевидно, що для зменшення витрат електроенергії на освітлення необхідно всюди, де це можливо, білити поверхні виробок.

## 12.3. Характеристики джерел світла

Вирішальне значення на експлуатаційні характеристики, економічність та надійність освітлювальних установок має правильний вибір джерела світла та світильників.

Розрізняють енергетичні, світлотехнічні, електротехнічні та експлуатаційні показники джерел світла.

До енергетичних показників відносять енергетичний ККД лампи

$$\eta_{\text{ен.л.}} = \frac{\Phi_{\text{п.п.}}}{P_{\text{л}}} \tag{12.11}$$

та ефективний ККД потоку випромінювання лампи

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \frac{\Phi_{\text{еф.л.}}}{\Phi_{\text{п.п.}}}, \tag{12.12}$$

де $\Phi_{\text{п.п.}}$ – повний потік випромінювання лампи, лм; $\Phi_{\text{еф.л.}}$– ефективний потік випромінювання лампи, лм; $P_{\text{л}}$ – потужність лампи, Вт.

До світлотехнічних показників відносять: ефективний потік випромінення лампи, світловіддачу лампи (відношення світлового потоку лампи Ф до її потужності Р: Н = Ф/Р; лм/Вт), спектральний склад випромінення лампи, пульсації світлового потоку. До електротехнічних показників відносять: номінальну потужність лампи, номінальну напругу лампи.

До експлуатаційних показників відносяться: корисний строк служби, середня тривалість роботи до зміни одного із параметрів лампи за допустимі стандартами межі, залежність основних параметрів лампи від відхилень напруги мережі.

Для штучного освітлення використовують як лампи розжарювання так і газорозрядні джерела світла.

## 12.4. Лампи розжарювання

Лампи розжарювання є тепловим джерелом світла. Джерело світлового випромінювання є вольфрамова нитка розжарювання, яка дає 10-15 % випромінювання в видимій частині спектра. З підвищенням температури нитки розжарювання збільшується кількість видимого випромінювання, підвищується економічність лампи.

Але не все світлове випромінення сприймається однаково оком людини. Тому світловий ККД лампи розжарювання дуже малий і дорівнює 1-4%.

Хоча температура плавлення вольфраму достатньо висока (3400 $^0$С), для уникнення інтенсивного випарювання нитки розжарювання доводиться знижувати її температуру до 2300-2800 $^0$С. Для цих температур світлова віддача ламп розжарювання коливається в межах від 6 до 20 лм/Вт. Лампи потужністю до 60 Вт виконуються вакуумними, а більш потужні заповнюються інертним газом (криптоном, аргоном). Це газонаповнені лампи.

Під дією високої температури має місце поступове випаровування вольфраму нитки розжарювання і як наслідок, збільшення її електричного опору, зменшення струму і, відповідно, температури розжарювання нитки та світлового потоку.

Виготовляються лампи розжарювання на всі стандартні напруги до 220 В і потужністю до 1000 Вт.

Лампи розжарювання дуже чутливі до коливань напруги в мережі. При збільшенні напруги в мережі на 5% від номінальної їх строк служби зменшується з 1000 до 400 годин, а при зменшенні напруги на 5% падає світловий потік до 82%, а строк служби підвищується до 2 ÷ 2,5 тис. годин. Для зменшення теплових втрат та збільшення світловіддачі ламп в них часто використовують біспіральні нитки розжарювання (вольфрамова нитка розжарювання скручується в спіраль, яка потім ще раз скручується в спіраль). Завдяки цьому при тому ж самому світловому потоці зменшується потужність, що споживається з мережі, тобто досягається реальна економія електроенергії.

Переваги ламп розжарювання: широкий асортимент ламп за потужністю, напругою, умовами використання; безпосереднє ввімкнення в мережу без додаткових апаратів; незалежність від зовнішнього середовища, в тому числі від температури; компактність; відносна стабільність світлового потоку (інертність випромінення). Недоліками ламп розжарювання є: низька світловіддача; обмежений строк служби; переважання в спектрі жовто-червоного

випромінювання; висока залежність світлового потоку і строку служби від напруги.

Значного поширення набули нині галогенні лампи розжарювання, які використовують вольфрамо- йодистий цикл.

В процесі роботи лампи з нитки розжарювання випаровуються частки вольфраму і осідають на внутрішній поверхні скляної колби. Галогенна лампа заповнена інертним газом з додаванням йоду. Під дією високої температури йод випаровується і переміщується на стінки трубки (колби), де разом з частками вольфраму, що осіли, утворюється газоподібний йодистий вольфрам ($WI_2$). Останній потрапляє на нитку розжарювання і під дією високої температури розкладається на чистий йод та вольфрам, який залишається на спіралі, відновлюючи останню.

Галогенні лампи розжарювання виготовляються на потужність до 10000 Вт, мають світловіддачу 20 ÷ 30 лм/Вт, строк їх служби досягає 2000-3500 годин і тому вони стають конкурентоспроможними з газорозрядними потужними лампами (ксеноновими), особливо при освітленні великих площ (наприклад, кар'єрів).

## 12.5. Газорозрядні джерела світла

### *12.5.1. Загальні особливості газорозрядних джерел світла*

Для освітлення виробничих, адміністративно-побутових приміщень підприємств, приміщень адміністративних, навчальних, наукових організацій, зовнішнього освітлення та ін. широко використовують газорозрядні джерела світла. Вони являють собою колбу зі звичайного або спеціального скла, що заповнена розрідженим інертним газом або парами ртуті. Всередину колби впаяні металеві електроди різної конструкції. В газорозрядних джерелах світла тілом, що світиться є не нитка, як у лампи розжарювання, а міжелектродний простір. До

вмикання в мережу газ між електродами газорозрядної лампи є діелектриком. Коли ж до лампи прикладається електричне поле великої напруженості, має місце пробій діелектрика і він перетворюється в провідник. Зі зняттям напруги властивості газу як діелектрика відновлюються. Величина пробивної напруги при даній відстані між електродами залежить від роду газу чи парів та їх тиску.

Газорозрядні джерела світла мають наступні особливості: вони приєднуються до мережі через пускорегулювальний апарат і (за винятком ксенонових ламп) через баластний опір (активний, індуктивний чи ємнісний); викликають в мережі коливання високої частоти, що створюють радіоперешкоди; чутливі до зниження напруги. Зниження напруги до 90% від номінального може призвести до згасання ламп, при цьому повторне запалювання (за виключенням трубчатих люмінесцентних ламп) має місце через 8-10 хвилин після відновлення напруги; світловий потік дугових ламп змінного струму коливається з подвійною частотою, що веде до коливань освітленості та викликає стробоскопічний ефект.

В залежності від типу інертного газу, яким заповнюються лампи, вони бувають: ртутні, натрієві, ксенонові.

Серед газорозрядних найбільш поширені ртутні лампи, які в залежності від тиксу парів ртуті в лампі поділяються на:

- лампи низького тиску 1 ÷ 1,5 Па – це люмінесцентні;
- високого тиску 0,3 ÷ 1,5 МПа – це дугові ртутні лампи.

### *12.5.2. Люмінесцентні лампи*

Для освітлення приміщень найбільшого поширення набули люмінесцентні лампи, в яких електричний розряд має місце в розріджених газах або в парах металів. Нормальна люмінесцентна лампа являє собою скляну трубку з впаяними електродами, заповнену аргоном при низькому тиску та кількома міліграмами рідкої ртуті. Під час роботи цієї лампи розряд в парах ртуті випромінює переважно ультрафіолетові випромінювання (85%). Щоб перетворити невидиме

ультрафіолетове випромінювання в випромінювання видимої частини спектру використовують люмінофори, у вигляді кристалічного порошку солей різних кислот (силікати, вольфрамати, фосфати і ін.), якими покрита внутрішня частина трубки.

В залежності від складу люмінофору люмінесцентні лампи для освітлення випускають п'яти типів: лампи денного світла (ЛД); денного світла з покращеною передачею кольору (ЛДЦ); холоднобілі (ЛХБ); теплобілі (ЛТБ); білі (ЛБ).

Освітлювальні лампи випускаються потужністю від 8 до 200 Вт; найбільш широко використовують лампи потужністю 20, 40, 80 Вт.

Лампи ЛД, ЛДЦ, ЛХБ рекомендують використовувати в приміщеннях, де за виробничими умовами необхідно точно розрізняти кольори та їх відтінки. Лампи ЛТБ – в місцях, де сприйняттю людських обличчь придається велике значення (наприклад в театрі). Для промислового освітлення найчастіше використовують лампи ЛБ, які мають спектр випромінення близький до денного світла. Терміни служби цих ламп досягають 12000-25000 годин, середній строк служби складає 5 ÷ 7 тис. годин, світловіддача досягає 75 ÷ 80 лм/Вт.

Ці лампи значно економніші за лампи розжарювання (в 3 ÷ 3,5 рази).

Недоліками люмінесцентних ламп є:

1. Великі габарити, довжина трубок від 250 до 1500 мм. Такі лампи важко вмонтовувати в інтер'єр приміщень. Тому для зменшення габаритів світильників промисловість випускає також U-подібні, W-подібні та кільцеві лампи.

2. Люмінесцентні лампи працюють стабільно при зміні напруги в межах ± 7 % від номінальної. За цими межами напруги різко змінюється світловий потік, строк служби, світловіддача, не гарантується їх запалювання.

3. Протягом строку служби значно падає світловий потік – до 56 % від початкового значення, що вимагає прийняття значних коефіцієнтів запасу при розрахунках освітлення.

4. Лампи чутливі до температури оточуючого середовища. Найбільша світловіддача має місце при температурі всередині лампи 40 ÷ 50 $^{o}$C, що

відповідає температурі оточуючого середовища 18 ÷ 25 $^{o}$C. При зниженні температури не гарантується запалювання люмінесцентних ламп, тому вони можуть використовуватись тільки для внутрішнього освітлення.

5. Люмінесцентні лампи мають пускорогулюючий пристрій, на якому втрачається значна частина енергії (20-25 % для стартерних ламп і 30-35 % – для безстартерних).

6. Наявність пускорегулюючих пристроїв зменшує коефіцієнт потужності лампи до cosφ = 0,5 ÷ 0,6.

7. Коливання світлового потоку створює стробоскопічний ефект, коли порушується сприйняття предметів, що рухаються (наприклад, деталі механізмів під час обертання можуть здаватися нерухомими), та призводить до швидкої втоми очей, що може привести до аварій та нещасних випадків.

Для вирівнювання світлового потоку використовують двохлампові світильники, коли за допомогою пускорегулюючого апарату створюється зсув фаз між струмами окремих ламп; коливання зменшується приблизно до 15 %. Краще використовувати три лампи, які почергово вмикаються в кожну із трьох фаз мережі. При цьому коливання зменшуються до 1 ÷ 3 %.

Враховуючи позитивні якості та недоліки люмінесцентних ламп, вони набули значного поширення для освітлення адміністративно-побутових приміщень, медичних, наукових, навчальних та ін. закладів, диспетчерських та операторських пунктів, електроприміщень, виробничих приміщень висотою до 7 метрів з високими рівнями освітленості та ін.

### *12.5.3. Способи запалювання люмінесцентних ламп*

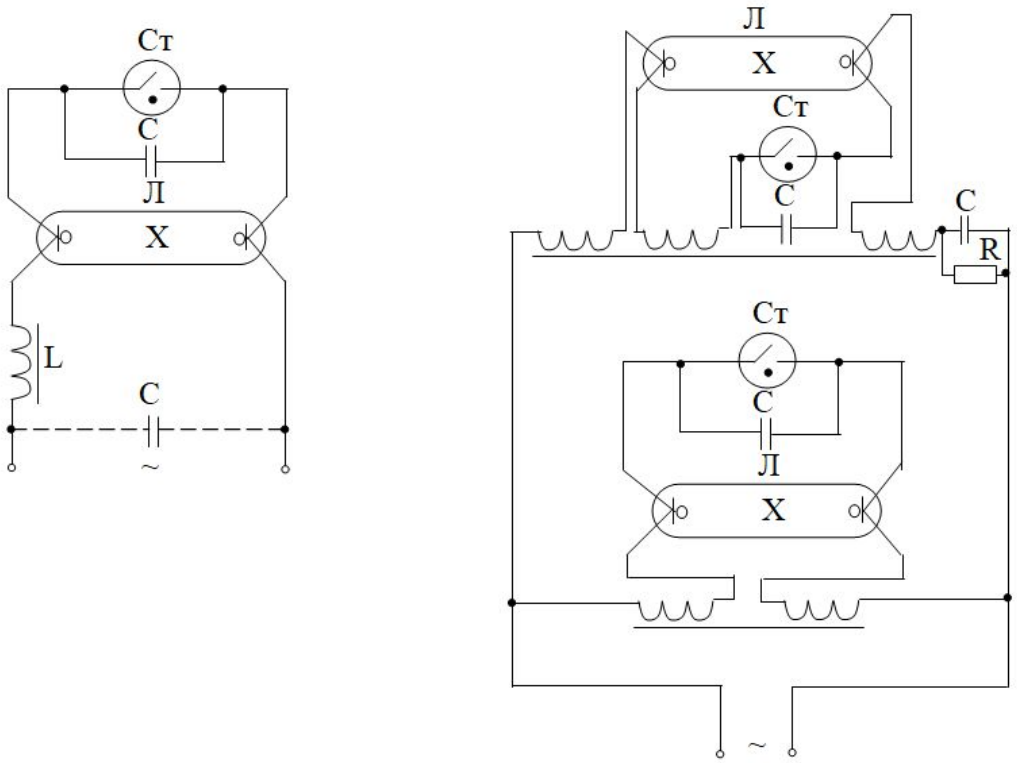
Використовують два способи запалювання люмінесцентних ламп:

- з попереднім підігрівом електродів ламп і подальшим ввімкненням на напругу мережі – стартерні схеми запалювання;

- з подачею на затискачі лампи на час її запалювання підвищеної напруги.

Після запалювання лампи необхідно стабілізувати струм лампи. Для цього вмикають в її коло баластний опір (стабілізуючий дросель). Стартерні схеми запалювання показані на рис. 12.3.

Роль стартера виконує невелика газорозрядна лампа тліючого розряду, скляна колба якої заповнена інертним газом (неон або суміш гелію з воднем) і розміщена в алюмінієвому чи пластмасовому корпусі. Всередині колби розміщені біметалеві електроди, які здатні при нагріванні вигинатися та замикатися між собою. Крім того, між електродами може горіти тліючий розряд, напруга запалювання якого менше напруги мережі.



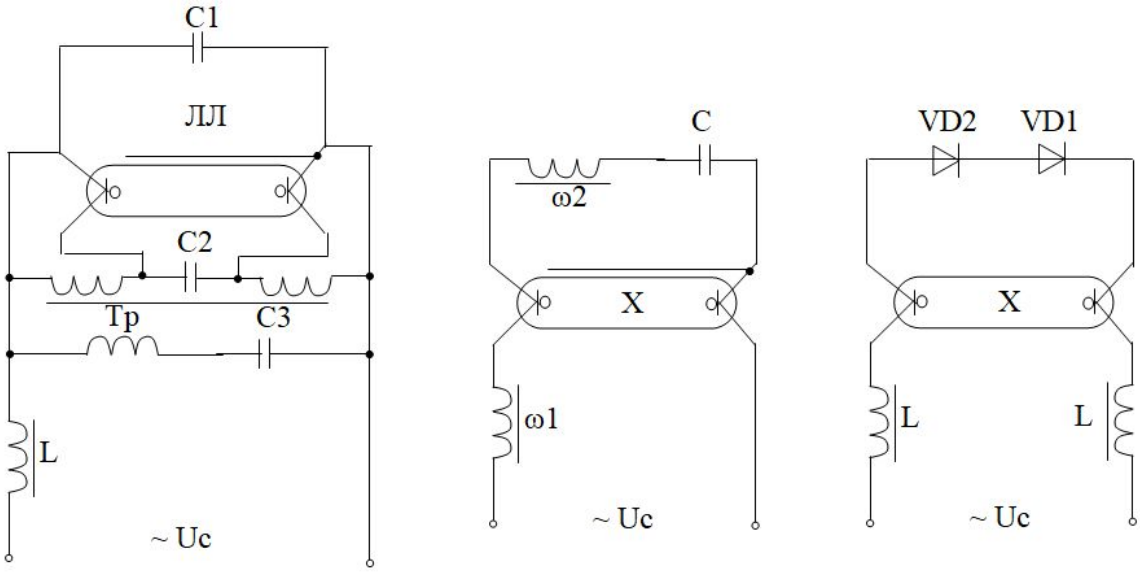

а) б)

Рис. 12.3. Стартертні схеми запалювання люмінесцентних ламп:
а) однолампова схема; б) дволампова схема

При подачі напруги мережі на лампу вона є недостатньою для запалювання лампи. Одночасно напруга подається на розімкнуті електроди стартера, між електродами з’являється тліючий розряд. Через деякий час в результаті нагріву

струмом розряду біметалеві електроди згинаються і закорочуються – при цьому тліючий розряд зникає. В цей час з'являється коло підігріву електродів люмінесцентної лампи струмами в 1,5 рази більшими струмів при нормальній роботі лампи. Вони нагріваються до температури 800-900$^0$С і починають випромінювати електрони необхідні для іонізації газу в лампі. Коли електроди стартера охолоджуються – відбувається їх раптове розмикання і, відповідно, розмикання струму в дроселі. ЕРС самоіндукції дроселя накладається на напругу мережі. Імпульс напруги, що перевищує напругу мережі (400- 600 В), прикладається до електродів люмінесцентної лампи, в лампі виникає дуговий розряд, що викликає її запалювання. Після запалювання лампи напруга мережі розподіляється між лампою і дроселем, опір якого підібрано таким чином, що напруга на лампі складає ≈ 0,65 $U_M$. Цієї напруги недостатньо для запалювання тліючого розряду в стартері. Якщо при першому спрацюванні лампа не загорілася, процес запалювання повторюється. З часом стартер старіє, при цьому зменшується напруга запалювання в ньому тліючого розряду. Тому електроди в ньому можуть замкнутися під час роботи лампи і вона згасне. Після охолодження електроди стартера знову розімкнуться і запалять лампу. Лампа починає блимати і в результаті виходить з ладу. Запалювання дволампових схем відбувається аналогічно. Значно поширені також безстартерні схеми запалювання люмінесцентних ламп. В них запалювання досягається за рахунок використання спеціальних трансформаторів розжарювання, явища резонансу напруги та ін. (рис. 12.4).

В схемах з трансформатором розжарювання (рис. 12.4, а) електроди розігріваються за допомогою трансформатора ТР. Сума напруги мережі, дроселя і конденсатора С3 створює на лампі напругу U = (1,05 – 1,3) $U_M$ достатню для запалювання лампи. При її запалюванні опір дроселя обмежує напругу на лампі до значення 0,5$U_M$. Запалювання лампи в таких схемах полегшується тим, що на зовнішню сторону лампи наносять прозору струмоведучу смужку, з'єднану з одним із електродів, яка зменшує напругу запалювання.




а) б) в)

Рис. 12.4. Безстартерні схеми запалення люмінесцентних ламп:
а) з трансформатором розжарювання (світильник РВЛ-40); б) з використанням явища резонансу напруги (світильник “Луч”); в) з диністором

В схемі, де використовують явище резонансу напруги (рис. 12.4, б) застосовують трансформатор з первинною обмоткою ω1 і вторинною ω2. Параметри трансформатора і ємності С підібрані такі, що коливальний контур ω2 і С до запалювання лампи налаштований на резонанс напруги, внаслідок чого напруга на лампі значно перевищує напругу в мережі, чого достатньо для її запалювання. Працюючи лампа шунтує ланцюжок ω2-С, при цьому резонанс напруги зникає, а обмотка ω1 використовується для обмеження струму лампи.

Роль стартера може виконувати диністор VD1 (рис. 12.4, в). В позитивний півперіод напруги диністор проводить струм, що розігріває катоди лампи. В негативний півперіод напруги, якщо катоди достатньо прогріті, вся напруга прикладається до лампи і вона запалюється. Діод VD2 необхідний для обмеження струму підігріву катодів.

Негативною особливістю люмінесцентних ламп (як і інших газорозрядних) є також підвищення нижньої межі зони зорового комфорту, в межах якої освітлення сприймається психологічно як достатнє. Якщо для ламп розжарювання

ця межа відповідає 30-50 лк, то для люмінесцентних ламп білого світла (ЛБ) вона підвищується до 150-200 лк. Виникнення “ефекту присмерковості” при низьких рівнях освітленості в установках з люмінесцентними лампами говорить про недоцільність їх використання для освітлення грубих робіт.

Аналізуючи основні недоліки та переваги люмінесцентних ламп, їх використовують в першу чергу для освітлення виробничих та громадських приміщень де тривалий час проводиться напружена зорова робота, повністю відсутнє або відчувається нестача природного світла, довго знаходиться велика кількість людей, необхідно правильне відтворення кольорів. Особливо доцільно їх використовувати в рудникових світильниках, де вказані раніше недоліки люмінесцентних ламп суттєвого значення не мають. Не має суттєвого значення залежність від температури зовнішнього середовища; немає необхідності в частих увімкненнях та вимкненнях ламп; трубчата форма лампи значної довжини добре підходить для низьких та довгих шахтних виробок; достатньо легко забезпечується вибухобезпека люмінесцентних ламп; приєднуючи лампи в різні фази трифазної мережі легко усувається стробоскопічний ефект.

### *12.5.4. Дугові ртутні лампи*

Для освітлення високих виробничих приміщень, особливо при виникненні значних ускладнень в обслуговуванні великої кількості (люмінесцентних) ламп, для зовнішнього освітлення широко використовують ртутні лампи високого тиску типу ДРЛ з виправленою кольоровістю, які мають більшу одиничну потужність.

Лампи ДРЛ випускаються двоелектродними (250-1000 Вт) та чотириелектродними (80-1000 Вт).

Двохелектродна лампа (рис. 12.5) являє собою товстостінну кварцеву трубку 1, заповнену парами ртуті під тиском 0,5-1 МПа. Самостійно ртутно-кварцова лампа дає інтенсивне ультрафіолетове випромінювання. Тому для виправлення спектру випромінювання ртутної лампи кварцова трубка вміщується

в зовнішню колбу (2) із термостійкого скла (температура колби досягає 300-400 $^0$С), яка покрита люмінофором 3. Колба заповнена азотом, завдяки чому запобігається віддача тепла пальникової трубки 1 в зовнішнє середовище, що підвищує тиск парів в ній, збільшує світловий потік і економічність лампи. Лампа ДРЛ має спектр випромінювання, близький до денного світла. Світлова віддача лампи досягає 50-70 лм/Вт. Строк служби ламп ДРЛ складає до 10000 годин для двохелектродних та 3000 годин для чотириелектродних. Суттєвою перевагою ламп ДРЛ є їх форма, що нагадує лампу розжарювання, лампа має компактні габарити. Втім ці лампи мають низьку якість кольоропередачі, відносно високу ціну, високу чутливість до зниження напруги.

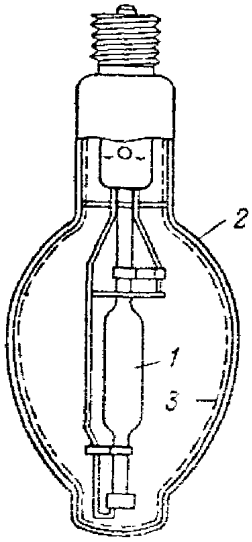



Рис. 12.5. Ртутна лампа високого тиску ДРЛ з виправленою кольоровістю

Для запалювання двохелектродної лампи потрібен імпульс напруги в декілька кВ, тобто до лампи має бути приєднаний спеціальний пристрій (рис. 12.6). При підключенні схеми до мережі напруга живлення подається на електроди лампи і її коло запалювання. Конденсатор С1 через випрямляч VD заряджається, напруга на ньому і, відповідно, на розряднику Р зростає. Коли вона досягає значення 180-220 В має місце пробій розрядника і імпульс струму розряду конденсатора створює імпульс (тривалістю 4-10 мкс) високої напруги на обмотці імпульсного трансформатора, який, накладаючись на напругу мережі, запалює лампу (для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ використовують запалювальні пристрої

УІЗУ-200-02 з імпульсом напруги 5,2 кВ). В процесі горіння лампи напруга мережі розподіляється між обмоткою TV та лампою так, що на лампу надходить 130-140 В, чого недостатньо для пробою розрядника.

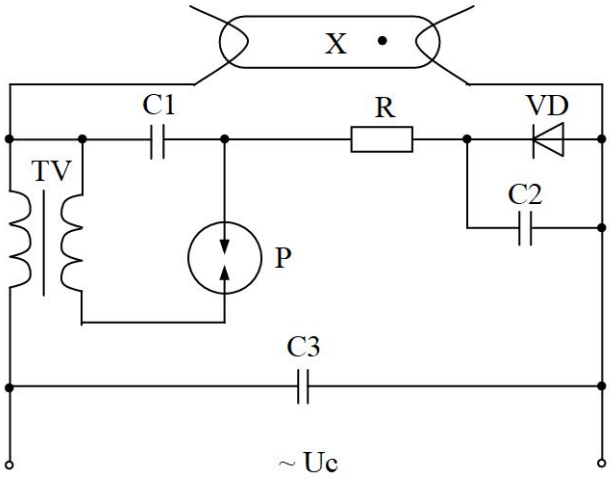
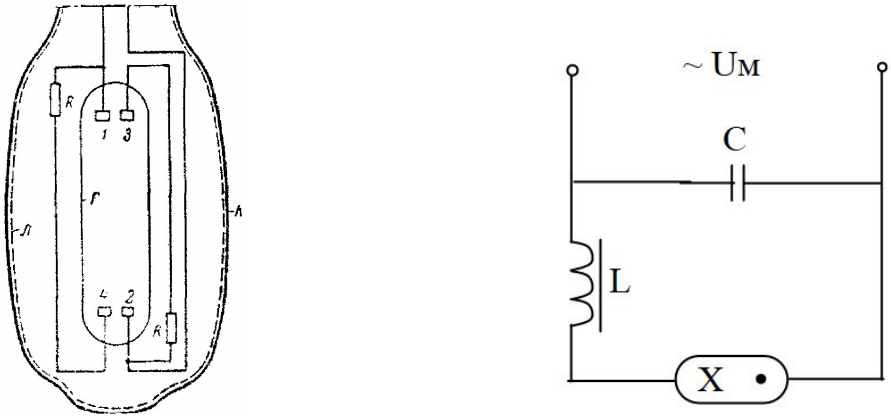



Рис. 12.6. Схема запалювання двохелектродної лампи ДРЛ

Чотириелектродні лампи мають більш просту схему запалювання (рис. 12.7). Лампи мають допоміжні електроди. При підключенні лампи під дією напруги мережі спочатку запалюється розряд в невеликому газовому проміжку між робочим та допоміжними електродами. При достатній іонізації газу розряд перекидається на робочі електроди і лампа запалюється. Лампи доцільно використовувати при тривалому режимі роботи, оскільки повторне запалювання можливе через 10-15 хвилин після відключення.




а) б)

Рис. 12.7. Чотириелектродна лампа ДРЛ:

а) внутрішня схема лампи; б) схема запалювання

### *12.5.5. Дугові лампи високого тиску*

Для виробничого освітлення приміщень висотою більше 10-12 м, зовнішнього освітлення випускаються металогалоїдні ртутні лампи високого тиску ДРІ та натрієві ДНаТ. Лампи ДРІ мають достатньо хорошу кольоропередачу, світловіддачу 75-110 лм/Вт вони мають діапазон потужностей 250-2000 Вт (лампи потужністю 2000 Вт на напругу 380 В), строк служби 5000-10000 годин. Приймаючи до уваги незадовільну кольоропередачу (випромінюють золотисто-біле світло) натрієві лампи ДНаТ використовують для зовнішнього освітлення автострад, міських вулиць, транспортних тунелів, декоративної підсвітки будівель і т. п. Лампа має світловіддачу 90- 120 лм/Вт (для окремих ламп досягає 180 лм/Вт), строк служби до 10000-15000 годин, виготовляється в трубках з полікристалічного окису алюмінію та в монокристалічній сапфіровій трубці.

Для освітлення великих за площею територій відкритого простору, наприклад, кар'єрів, відвалів, майданів міст, стадіонів, промислових майданчиків і т. п. випускаються ксенонові лампи великої потужності (2,5; 10; 20; 50 кВт). Лампи являють собою кварцову трубку (діаметром 25-42 мм, довжиною до 2,6 м) з впаяними на її кінцях електродами з торійованого вольфраму, заповнені інертним газом ксеноном під високим тиском. Лампи характеризуються хорошою кольоропередачею, їх випромінювання наближається до сонячного світла. Світловіддача деяких ламп досягає 120-150 лм/Вт. Строк служби до 2000 годин. Ксенонові лампи – безбаластні, тобто вони після запалювання вмикаються безпосередньо в мережу, пусковий пристрій необхідний лише для запалювання лампи імпульсом високої напруги (30-50 кВ). Лампа має високий коефіцієнт потужності (0,95-0,97). Поряд з цим, лампи мають значне ультрафіолетове випромінювання, що обмежує їх використання в безпосередній зоні роботи людей.

При вирішенні питання вибору джерела штучного освітлення необхідно аналізувати основні характеристики джерел світла та їх відповідність до умов об’єкту, що освітлюється.

До основних характеристик джерел світла, які визначають можливість їх використання в тих чи інших умовах, слід віднести: електричні характеристики (напруга, потужність); розміри та форма колби; світлові характеристики (світловіддача, строк служби, яскравість); характеристики кольоровипромінювання (спектральний склад, кольоровість випромінювання); економічність (початкові та експлуатаційні витрати на 1 кВт потужності чи 1000 лм світлового потоку).

## Контрольні запитання

*1. Які вимоги висувають до раціонального електричного освітлення? Які існують системи освітлення? Що входить до проекту освітлювальної установки?*

*2. Наведіть кількісні та якісні показники освітлення.*

*3. Охарактеризуйте лампи розжарювання як джерела світла.*

*4. Охарактеризуйте газорозрядні джерела світла. Який принцип роботи та характеристики люмінесцентних ламп? Опишіть роботу схем запалювання люмінесцентних ламп.*

*5. Охарактеризуйте дугові ртутні лампи як джерела світла. Опишіть роботу схем запалювання дво- та чотириелектродної лампи ДРЛ.*

# ЛЕКЦІЯ 13. Освітлювальні прилади

13.1. Прилади ближнього світла.

13.2. Прилади дальнього світла.

13.3. Світильники для вибухонебезпечних середовищ.

13.4. Освітлювальні установки гірничих підприємств.

## 13.1. Прилади ближнього світла

Джерела світла випромінюють в навколишній простір світловий потік в усіх напрямках. Тому їх необхідно вміщувати в спеціальну освітлювальну арматуру. Сукупність джерела світла та освітлювальної арматури називають освітлювальним приладом. Головне призначення освітлювального приладу – перерозподіл світлового потоку джерела світла в необхідних напрямках, захист ламп, оптичної системи, електричної апаратури від дії навколишнього середовища, пилу, вологи механічного пошкодження; запобігання засліплювальної дії лампи на очі людини, кріплення джерела світла та підведення до нього електроенергії.

Для перерозподілу світлового потоку в необхідному напрямку в освітлювальних приладах встановлюють відбивачі, розсіювачі, заломлюючі оптичні системи.

Розрізняють прилади ближнього світла – світильники та прилади дальнього світла – прожектори. Світильники призначені для освітлення поверхні, що знаходиться на відстані від джерела світла не більше 20-30 м. Більш віддалені поверхні освітлюються прожекторами або освітлювальними приладами значної потужності.

Світлотехнічними характеристиками світильників є їх криві сили світла, габаритні розміри, потужність ламп та напруга мережі, відношення потоків, що випромінюються в верхню чи нижню напівсфери, коефіцієнт корисної дії, захисні

кути. Рідше використовуються характеристики яскравості та коефіцієнт підсилення.

Характеристика світлорозподілення є головною світлотехнічною характеристикою і визначає якість освітлення та енергетичну ефективність освітлювальної установки. Одним з основних елементів світильника є відбивач. Високоефективні відбивачі використовують поверхні, покриті сріблом, які мають виключно високе дзеркальне відбиття, забезпечуючи максимальне відбиття світлового потоку лампи та збільшуючи коефіцієнт використання освітлювальної установки, тому що більша частина світлового потоку лампи досягає робочої поверхні. За ознакою відношення світлового потоку ($Ф_◒$), що випромінюється в нижню напівсферу до загального потоку світильника ($Ф_з$) всі світильники поділяються на п'ять класів: прямого світла ($Ф_◒$> 80 %); переважно прямого світла (60 % < $Ф_◒$ ≤ 80 %); розсіяного світла (40 % < $Ф_◒$ ≤60 %); переважно відбитого світла (20 % < $Ф_◒$ ≤ 40 %), та відбитого світла ($Ф_◒$ ≤20 %).

Криві сили світла світильників кожного з класів за своєю формою поділяються, в свою чергу, на сім типів (рис. 13.1): концентрована (К), глибока (Г), косинусна (Д), напівширока (Л), широка (Ш), рівномірна (М), синусна (С).

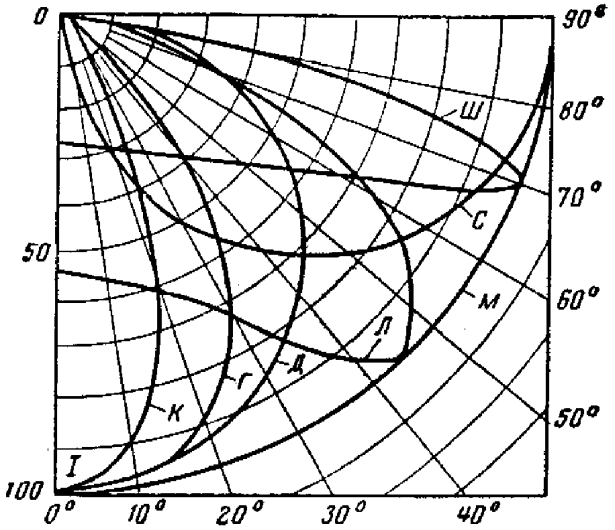



Рис. 13.1. Типові криві сили світла (у відносних одиницях)

За рівнем захисту від пилу та води світильники класифікуються за міжнародною системою (IPOO). На практиці також розрізняють відкриті світильники, перекриті (решіткою, сіткою і т. п.), бризко- та водозахищені, пилозахищені, пилонепроникні, вибухозахищені. Слід також розрізняти рудникові світильники, які можуть бути в рудниковому нормальному виконанні, рудниковому підвищеної надійності та рудникові вибухозахищені.

Світловий коефіцієнт корисної дії світильників визначається як:

$$\eta_{\text{с}} = \frac{\Phi_{\text{світ.}}}{\Phi_{\text{л.}}}, \qquad (13.1)$$

де $\Phi_{\text{світ.}}$ – світловий потік світильника, $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи.

Для сучасних конструкцій світильників світловий коефіцієнт корисної дії (13.1) складає 0,8-0,85. Світловий ККД необхідно відрізняти від енергетичного ККД:

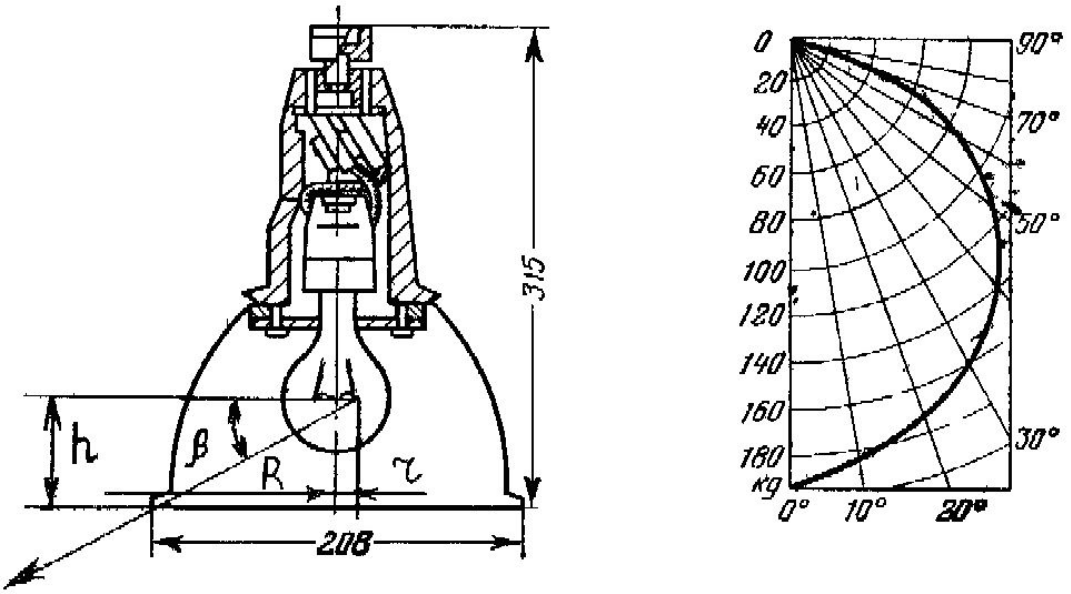
$$\eta_{\text{е}} = \frac{P_{\text{л.}}}{P_{\text{світ.}}}, \qquad (13.2)$$

де $P_{\text{л.}}$ – потужність лампи, $P_{\text{світ.}}$ – потужність, що споживається світильником, з урахуванням втрат в пускорегулювальному пристрої.

З точки зору засліплюючої дії, світильники характеризуються захисним кутом, що визначає захист ока від прямих променів джерела світла. Це кут між горизонталлю, що проходить через нитку розжарювання лампи, та прямим променем, що вільно виходить із світильника (рис. 13.2, а). Захисний кут визначається як

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{h}{R + r}, \qquad (13.3)$$

де $h$ – відстань від нитки розжарювання до площини плафона, м; $R$ – радіус плафона, м; $r$ – половина довжини нитки розжарювання, м.




а) б)

Рис. 13.2. Світильник НСП01х100/Д2'3 – 01 (Астра-1):

а) конструкція; б) характеристика світлорозподілу

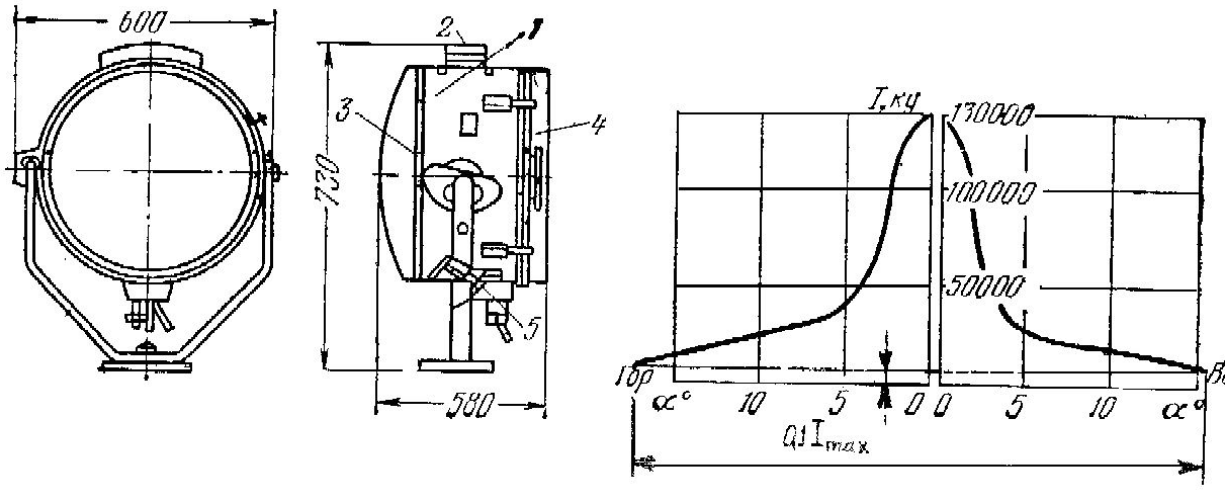
Характеристики світильників часто включаються в структуру їх умовного позначення (наприклад, НСП01х100/Д2'3-01 – рис. 13.2, б): перша літера визначає тип джерела світла (Н – лампа розжарювання, И – галогенна, Л – люмінесцентна пряма, трубчата, Ф – люмінесцентна фігурна, Р – ртутна ДРЛ, Г – ртутна ДРІ, Ж – натрієва, К – ксенонова); друга літера – спосіб установки світильника (С – підвісні, П – настельні, Б – настінні, К – консольні, В – вмонтовані, Р – ручні, Г – головні і ін.); третя літера – призначення світильника (П – для промислових підприємств, Р – рудникові, Б – для житлових приміщень, У – для зовнішнього освітлення); далі наводиться серія, кількість та потужність лампи, типова крива розподілу сили світла (Д), ступінь захисту (2'3) та модифікація (01).

## 13.2. Прилади дальнього світла

Поряд зі світильниками різних типів в практиці освітлення широко використовуються прожектори, що мають значно більшу концентрацію світлового потоку порівняно з світильниками.

Серед інших, найбільш важливими характеристиками прожекторів є: криві розподілу сили світла, максимальна сила світла, кут розсіювання, ККД та коефіцієнт підсилення.

Максимальна сила світла – сила світла по осі прожектора. Кут розсіювання – це кут в межах якого сила світла складає 10 % від максимальної осьової сили світла, він складає 25 ÷ $30^0$ (рис. 13.3, б). Приймаючи до уваги, що крива розподілу сили світла прожектора має значну концентрацію, велика частина світла поглинається арматурою прожектора, тому він має низький ККД, який коливається в межах 0,25 ÷ 0,38.




а) б)

Рис. 13.3. Прожектор ПЗС-45А: а – конструкція; б – характеристика світлорозподілення. Цифрами позначено: 1 – корпус; 2 – вентиляційний пристрій; 3 – відбивач; 4 – передня рама; 5 – патрон

Коефіцієнт підсилення – це відношення максимальної сили світла $I_{\max}$ до її середньосферичного значення $I_0$:

$$K_{\text{П}} = \frac{I_{\max}}{I_0}. \qquad (13.4)$$

Вибір освітлювального приладу є одним з основних питань проектування освітлювальної установки, від якого залежить якість, економічність та надійність дії освітлювальної установки. Основними показниками, що визначають вибір

світильника, слід вважати: конструктивне виконання, світлорозподілення світильника, блисткість світильника та його економічність.

Умова середовища приміщення суттєво впливає на вибір світильника. До світильників, що встановлюються в приміщеннях з нормальними умовами середовища (сухі, опалювані), не висовується спеціальних вимог (світильники з лампами розжарювання серії НСП01, “Геліос”, ПКР, ИПО, з люмінесцентними лампами ЛСП02, ЛСП13, ОДР та ін.).

В вологих та сирих приміщеннях виконання світильника може бути будь-яким, але патрон повинен мати корпус з вологостійких матеріалів. В особливо сирих приміщеннях світильник повинен мати бризкозахисне виконання, при цьому корпус і патрон повинні бути із вологостійких матеріалів (світильники НСП01, НСП02, НСП03, ПВЛМ, ВЛВ, ЛВП02 та ін.).

В приміщеннях з хімічно активним середовищем світильники відповідають аналогічним умовам, але при цьому конструктивні елементи світильника й ізоляція проводів повинні вибиратись з урахуванням їх стійкості до хімічних речовин, що виділяються (ПВЛП, РСП13, РСП14, СД-2РТС, УПСДРЛ, ИПП03, ПИП-2, УПД, ИСУ01 та ін.).

В приміщеннях з пилом, якщо пил є не легкоспалахуючим і не створює вибухонебезпечних середовищ, допускається використання пилонезахищеного відкритого та перекритого виконання світильників (як більш дешевих, економічних, якщо пил локалізується в основному внизу і не проводить струм), пилозахищених та пилонепроникних світильників.

В запилених приміщеннях не бажано використовувати світильники з люмінесцентними лампами перекритими решітчатими затемнювачами, що інтенсивно запилюються.

В пожежонебезпечних приміщеннях, в залежності від ступеня вибухобезпеки, можуть використовуватись світильники в різному виконанні. Приймаючи до уваги умови експлуатації освітлювальних установок зовнішнього освітлення, промисловість випускає спеціальні світильники для зовнішнього

освітлення. Для освітлення проходів між будинками, інших відкритих площадок, територій, виробничих майданчиків, робочих зон кар'єрів значного поширення набули світильники з лампами розжарювання СПО-2- 200, СПП та ін. (рис. 13.4).

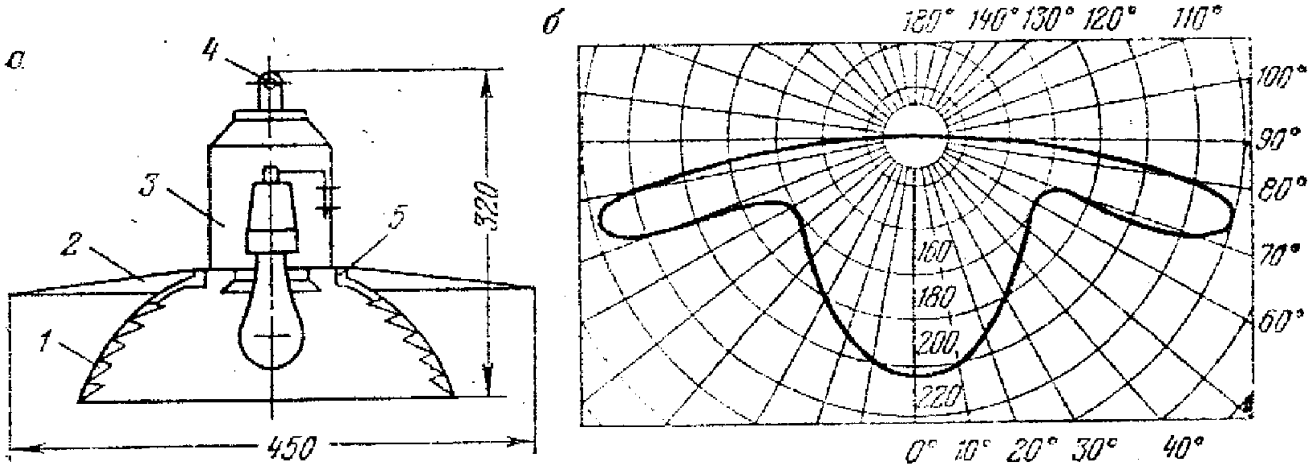



Рис. 13.4. Світильник СПП: а – конструкція; б – характеристика світлорозподілення. Цифрами позначено: 1 – заломлювач зі скла; 2 – відбивач; 3 – корпус; 4 – скоба; 5 –кільце кріплення заломлювача

Для освітлення вулиць, доріг, заводських територій, промислових майданчиків використовуються світильники з лампами ДРЛ і ДРИ. Це світильники СКЗР-250, СЗП, СЗПР, РКУ01, СПОГ та ін. (рис. 13.5).

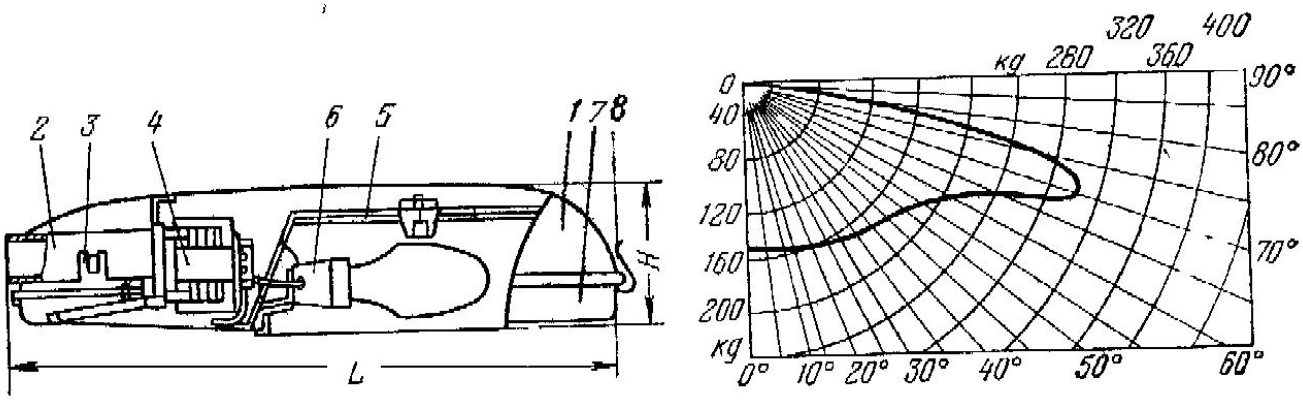
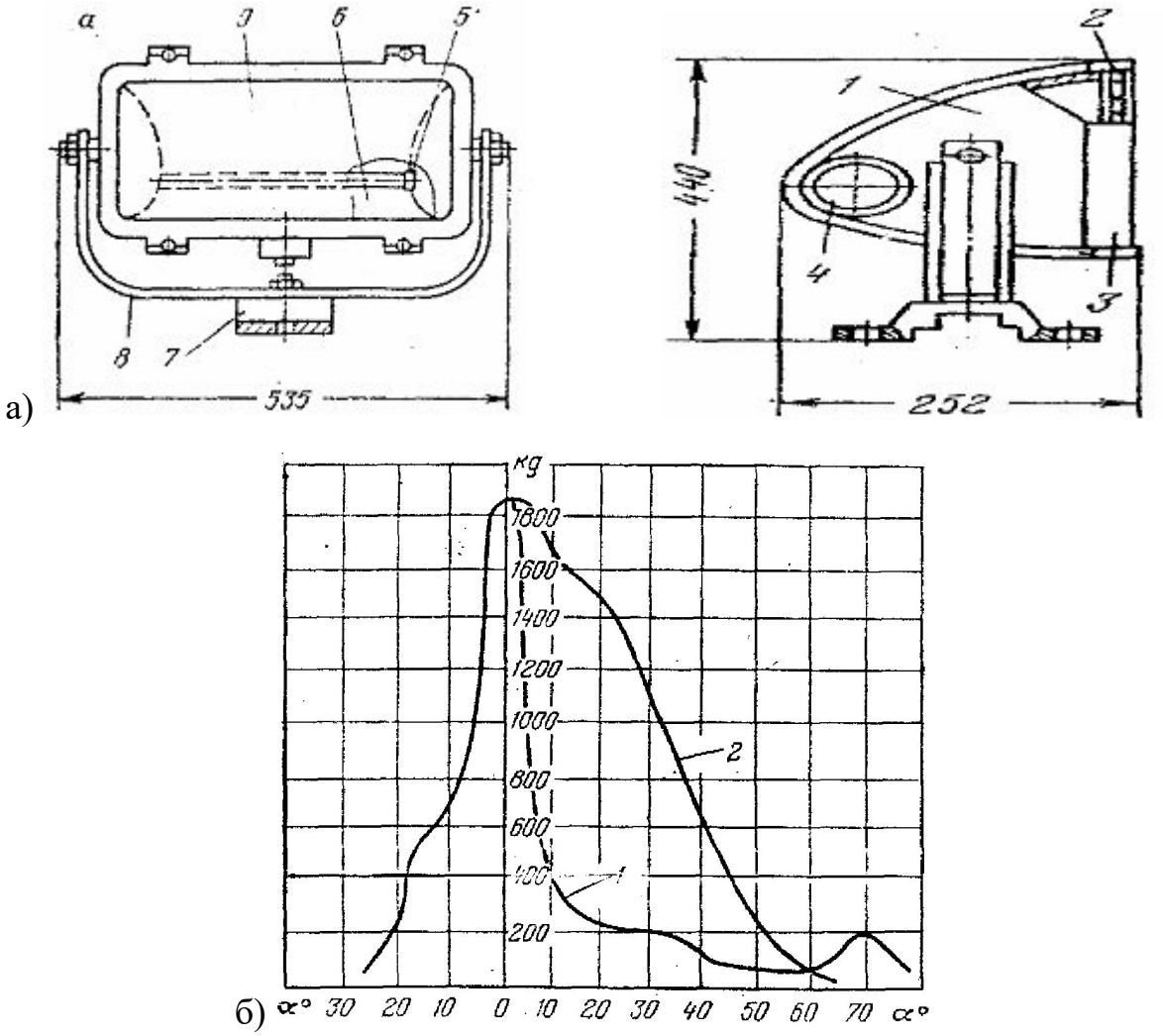



Рис. 13.5. Світильник РКУ01: а – конструкція; б – характеристика світлорозподілення. Цифрами позначено: 1 – корпус; 2 – консоль кріплення; 3 – хомут; 4 –пускорегулювальний апарат; 5 – відбивач; 6 – патрон; 7 – захисне скло; 8 – замок

На відкритих гірничих роботах широко використовуються прожектори заливаючого світла зі скляним відбивачем ПЗС-35А та ПЗС-45А з лампами

розжарювання відповідно 500 та 1000 Вт. Практично ті ж характеристики має прожектор з металічним відбивачем ПЗМ-45А. Крім цих, на кар'єрах можуть використовуватись також прожектори середнього світлорозподілу ПСМ-40, ПСМ-50, прожектори ПКН з кварцовими лампами розжарювання з вольфрамогалогенним циклом потужністю 1000 та 1500 Вт та ін.

Для освітлення відкритих гірничих робіт, промислових майданчиків гірничих підприємств призначені також світильники з галогенними лампами типу ИСУ01х2000 та ИСУ02х5000 (рис. 13.6) відповідно з потужністю ламп 2000 та 5000 Вт.




а)

б)

Рис. 13.6. Світильник ИСУ01х2000/К63- У1: а – конструкція; б – характеристика світлорозподілення. Цифрами позначено: 1 – корпус; 2 – прокладка з гуми; 3 – рама; 4 – стакани для розташування патронів; 5, 6 – відбивач; 7 – основа; 8 – скоба; 9 – захисне скло

Для загального освітлення кар’єрів нині широко використовують світильники з потужними ксеноновими лампами, що дає можливість значно зменшити кількість освітлювальних приладів та освітлювальні мережі на кар’єрі. Для освітлення середніх за величиною відкритих просторів кар’єрів використовують світильник ККУ01 “Аревик” з лампами потужністю 10000 та 20000 Вт (рис. 13.7). Крім цього, на великих та глибоких кар’єрах можуть використовуватись світильники ОУКсН-20000 та ОУКсН-50000 – прилади відкритого типу без захисного скла.

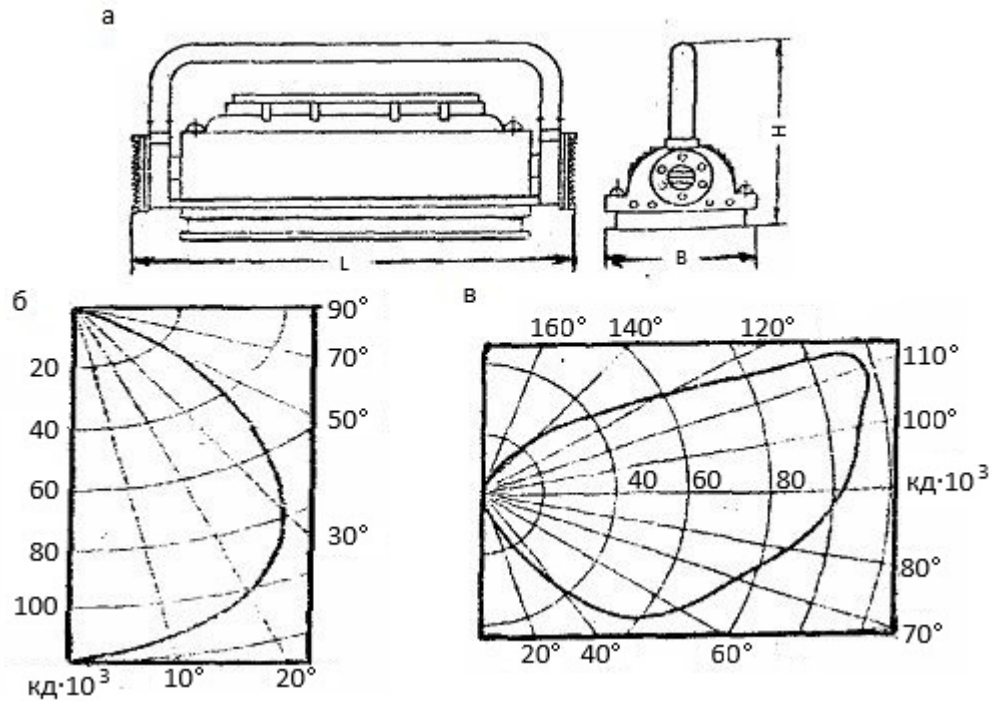



Рис. 13.7. Світильники ККУ01:
а – конструкція світильника ККУ01х10000; б – характеристики світлорозподілу в горизонтальній площині; в – те ж саме в вертикальній площині

## 13.3. Світильники для вибухонебезпечних середовищ

Особливо жорсткі вимоги висуваються до світильників, що призначені для роботи в вибухонебезпечних середовищах, в вибухонебезпечних приміщеннях та в виробках шахт та рудників. В залежності від ступеню вибухонебезпеки

використовують світильники в вибухонепроникному, вибухонебезпечному виконанні та в виконанні підвищеної надійності. При цьому слід розрізняти світильники для вибухонебезпечних приміщень та для підземних виробок шахт.

В вибухонебезпечних приміщеннях категорій В-І допускається тільки світильники в вибухонепроникному виконанні. Це виконання повинно гарантувати захист від можливості виникнення вибуху при контакті зовнішнього середовища з корпусом світильника, а також перешкоджати передачу вибуху в зовнішнє середовище, якщо вибух мав місце всередині світильника.

Перша вимога досягається за рахунок обмеження допустимої температури зовнішньої поверхні світильника в залежності від температури самоспалахування вибухонебезпечної суміші. Друга вимога досягається за рахунок вибору захисної оболонки, що витримує тиск, що виникає при вибусі всередині світильника, та виконанням спеціальних проміжків, через які в зовнішнє середовище виходять продукти вибуху після охолодження. Тобто вибухонепроникне виконання є не універсальним, а відповідає лише відповідній вибухонебезпечній суміші. Промисловість випускає вибухонепроникні світильники В4А-60, ВЗГ-100, ВЗГ-200АМ, ВЗГ/В4А-200М з лампами розжарювання та світильники НОГЛ, НОДЛ і ЛСПО4 з люмінесцентними лампами, а також світильники РСП11, РСП14, ГСП14, ЖСП14 з лампами відповідно ДРЛ, ДРИ та ДНаТ.

В вибухонебезпечних приміщеннях, в яких вибухонебезпечне середовище може утворюватися лише при аварійних режимах (категорія Іа, Іб) або виникають пило-повітряні вибухонебезпечні суміші (категорія ІІ) допускається використання крім світильників в вибухонепроникному виконанні, світильників в виконанні підвищеної надійності. Це виконання не виключає можливість передачі вибуху, що виник всередині світильника, назовні, робить вибух малоймовірним, що досягається використанням спеціального патрону з іскрогасною камерою, або пристроєм блокування, що вимикає світильник при вигвинчуванні лампи. Це світильник Н4БМ-150, Н4Т2Н-30 Тернопільського заводу “Ватра”.

Для освітлення вибухонебезпечних приміщень будь-яких категорій і груп вибухонебезпечних сумішей можуть використовуватись щілинні світловоди, які являють собою трубу зі світлонепроникного матеріалу, покритого всередині дзеркальним шаром. Вздовж всієї труби залишається оптична щілина. Джерело світла встановлюється в торці світловода. Тобто світловод дає можливість ввести в приміщення світло від джерела, розташованого зовні приміщення з вибухонебезпечним середовищем.

Беручи до уваги специфічні тяжкі умови експлуатації освітлювальних установок в підземних виробках, для них використовують світильники в спеціальному рудниковому виконанні.

В залежності від джерела живлення рудникових світильників, останні поділяються на мережеві, що приєднуються до електричної мережі та ручні акумуляторні світильники, що живляться від переносного акумулятора. Крім цього, рудникові світильники поділяються на: рудникові світильники для рудників та шахт, безпечних за газом та пилом, що мають рудникове нормальне виконання; рудникові світильники для шахт, небезпечних за газом або пилом, які виготовляються в рудниковому виконанні підвищеної надійності (РП) та вибухобезпечні (РВ).

До першої групи відноситься світильник НСР01х200/Р53 з лампою розжарювання потужністю 150 або 200 Вт та напругою 220 В. Світильник складається з металевих корпусу та сітки, всередині корпусу встановлено фарфоровий патрон. Захисний скляний ковпак разом з сіткою кріпиться до корпусу за допомогою гайок-барашок.

Серед світильників другої групи промисловість випускає рудникові світильники підвищеної надійності для стаціонарного освітлення типів РП-100М та РП-200 з лампами розжарювання відповідно 100 та 200 Вт (рис. 13.8) напругою 127 В.

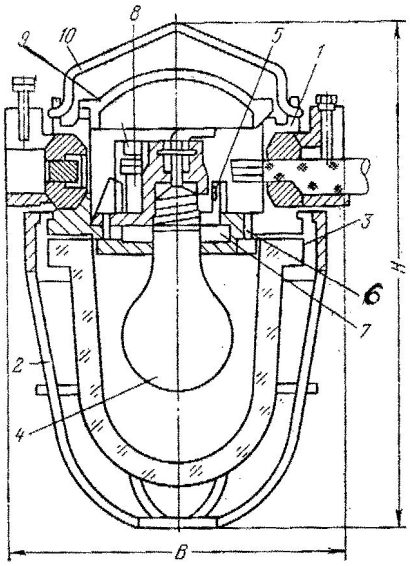



Рис. 13.8. Конструкція світильника РП: 1 – корпус; 2 – захисна решітка; 3 – скляний ковпак; 4 – лампа; 5 – панель патрона; 6 – гвинти кріплення панелі; 7 – гребінчастий контакт; 8 – клемові затискачі; 9 – кришка; 10 – пристрій підвісу

Всередині корпусу лампи вмонтовано панель патрона із термопластику, в верхній частині якої знаходиться вибухонепроникна камера, де має місце розмикання контактів з лампою.

Крім цих, промисловість випускає подібні світильники у виконанні РП типів СШС 1.1М з лампами розжарювання 25, 40, 60 та 100 Вт і СШС 2.1М з лампами розжарювання 150 та 200 Вт.

Для освітлення підземних виробок вугільних та сланцевих шахт, в яких допускається використання обладнання підвищеної надійності, використовуються світильники з люмінесцентними лампами у виконанні підвищеної надійності серії РПЛ01 (типу РПЛ01-20/Р-54 з лампою потужністю 20 Вт на напругу 127 В зі стартерною схемою запалювання та типу РПЛ01-40/Р-54 з лампою потужністю 40 Вт на напругу 220 В, з безстартерною схемою запалювання). Від механічних пошкоджень люмінесцентна лампа захищена міцною трубою із оргскла та металевою сіткою.

Для освітлення вибоїв та відкатних виробок дільниць шахт небезпечних за газом та пилом, використовують світильники в вибухобезпечному виконанні типу РВЛ-20М з люмінесцентною лампою 20 Вт напругою 127 В зі стартерною схемою

запалювання лампи (рис. 13.9). Для стаціонарного освітлення використовують світильники РВЛ-40М з лампою 40 Вт напругою 220 В та з безстартерною схемою запалювання.

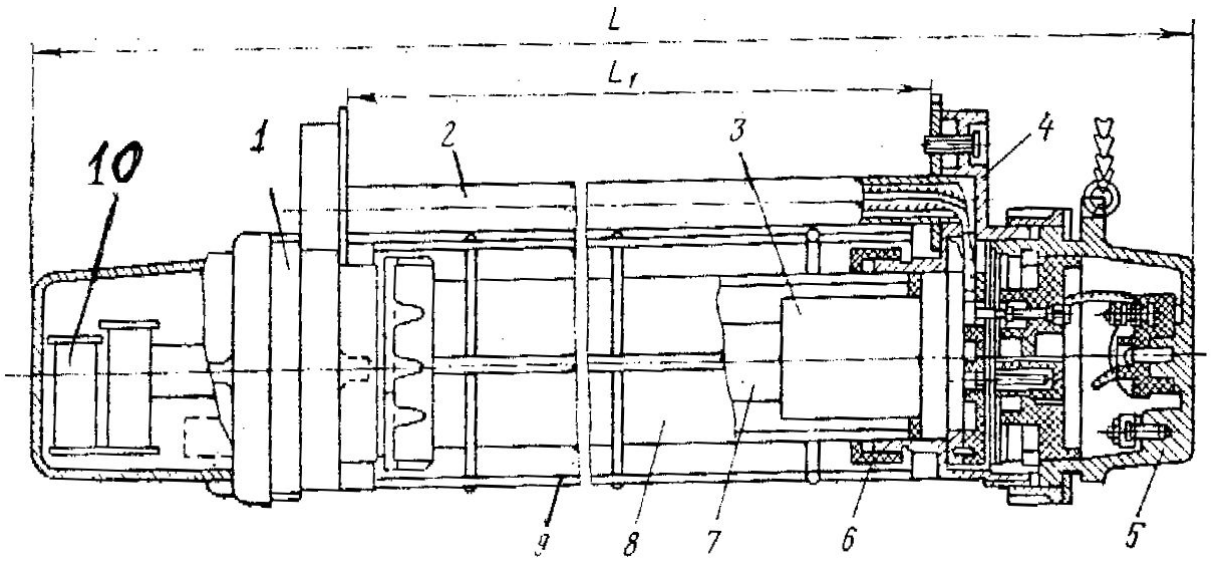



Рис. 13.9. Світильник РВЛ: 1, 4 – корпуси; 2 – з'єднувальна труба; 3 – патрон; 5 – корпус вхідного пристрою; 6 – притискна гайка; 7 – лампа; 8 – захисна труба; 9 – металева сітка; 10 –пускорегулювальний апарат

В робочому режимі температура електродів люмінесцентної лампи не перевищує 700-900 $^0$С і при руйнуванні трубки електроди не викликають спалахування рудникових газів. Але в звичайних схемах запалювання люмінесцентних ламп пошкодження трубки та припинення дугового розряду викликає підігрів електродів, які швидко перегріваються і легко можуть підпалити навколишню вибухонебезпечну атмосферу. Тому забезпечення вибухобезпеки люмінесцентних світильників можливе при використанні схем з холодним запалюванням ламп, або при виключенні можливості самовільного ввімкнення кола підігріву електродів при руйнуванні лампи. Для цього люмінесцентні світильники типу РВЛ обидва патрони обладнуються спеціальними пристроями, що автоматично вимикають лампу протягом 2-3 мс після її руйнування.

Для освітлення добувних вибоїв з механізованими комплексами використовують світильники СЗВ-60, СЗВ1.1М, "Луч-2М" та СКВ-2/8У.

Світильники СЗВ з лампою розжарювання потужністю 60 Вт і напругою 127 В закріплюються на підвісних секціях комплексу і разом з кабельною освітлювальною мережею переміщуються за вибоєм. Світильник має два захисних ковпаки: зовнішній виконаний із міцного прозорого полікарбонату, він захищає світильник від механічних пошкоджень без захисної решітки; внутрішній ковпак із силікатного скла, спроможного витримати високі температури. Наявність окремої відокремленої порожнини (коробки) виводів дозволило підвищити ступінь вибухобезпеки. Аналогічну конструкцію мають вибійні світильники СЗВ 1.1М з лампами розжарювання 25, 40, 60 Вт.

Світильник “Луч-2М” з люмінесцентною лампою 15 Вт напругою 127 В призначений для освітлення та світлової сигналізації в добувних вибоях шахти і дає можливість приєднання гудка, встановлюється на скребкових конвейєрах стругових установок або механізованому кріпленні комплексів обладнання. В корпусі розташовано кнопковий елемент для подання звукового та світлового сигналу.

Світильник СКВ-2/8У з двома люмінесцентними лампами 8 Вт призначений для освітлення механізованих добувних вибоїв зі струговими установками або іншими вуглевидобувними комплексами. Світильник дозволяє виконувати світлову та звукову сигналізацію, зупинку конвеєра та з’єднання з телефонним апаратом.

Незалежно від наявності в підземних виробках електричного освітлення, що живиться від електричної мережі, згідно з ПБ кожний підземний робітник повинен мати індивідуальні засоби освітлення. Для цього використовують ручні (переносні) акумуляторні світильники. Для зручності освітлення та перенесення акумуляторні світильники, як правило, мають фару, яка відокремлена від акумулятора і закріплюється на головній касці, акумулятор закріплюється на поясі.

Для головних акумуляторних світильників майже виключно набули поширення лужні кадмій-нікелеві акумулятори, які вимагають доливання

електроліту (наприклад, СГД-5) або виконуються герметизованими (СГГ-5). Фара має підвищену міцність, має двосвітлову лампу розжарювання з двома нитками на 1 та 0,5 А, заповнену ксеноном та перемикач для ввімкнення лампи. Вона має також контактне гніздо для приєднання до зарядної установки. Номінальна напруга акумулятора 3,6 В, ємність батареї 11 А·г.

При виборі світильників крім умов оточуючого середовища необхідно враховувати характеристики світлорозподілу світильників.

Для освітлення приміщень, стіни та стеля яких мають невисокі відбиваючі властивості, доцільно використовувати світильники прямого світла. При освітленні виробничих приміщень, стіни та стеля яких мають високі відбиваючі властивості, слід використовувати світильники переважно прямого світла.

Світильники прямого світла також набули значного поширення для освітлення вулиць, територій промислових майданчиків. Світильники розсіяного світла неекономічні в промислових умовах через великі втрати світлового потоку, вони використовуються для освітлення приміщень зі світлим оздобленням (адміністративні приміщення, навчальні та лікувальні заклади, приміщення громадських будівель і ін.).

Світильники відбитого світла, використання яких супроводжується найбільшими втратами світлового потоку джерел світла, використовуються переважно в установках архітектурного освітлення.

## 13.4. Освітлювальні установки гірничих підприємств.

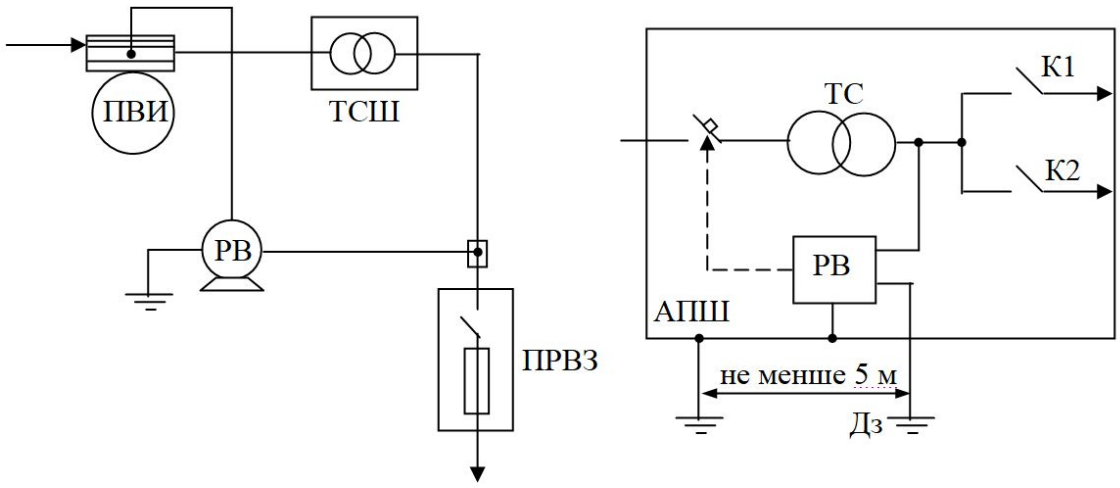
До складу електроосвітлювальної установки, крім вище вказаних освітлювальних приладів, входять освітлювальні трансформатори, комутаційна та захисна апаратура, освітлювальна мережа.

Підземні освітлювальні установки шахт живляться напругою не вище 220 В, а освітлювальні установки очисних виробок, а також світильники місцевого

освітлення з лампами розжарення, що вмонтовані безпосередньо в гірничі машини – не вище 127 В.

При будівництві метрополітенів, тунелів та інших підземних споруд напруга 220 В використовується для освітлення тунелів з зачеканеною обробкою та в сухих виробках; для виробок з незачеканеною обробкою, сирих виробок, для освітлення на щитах, укладальниках тунельної обробки, пересувних підмостках, бурильних, чеканочних та монтажних візках – не вище 42 В.

Ці напруги одержують за допомогою понижуючих трансформаторів. Для живлення освітлювальних установок шахт використовують вибухобезпечні трансформатори ТСШ-4/07 та ТСШ-4/07-38 потужністю 4 кВА. Первинна обмотка може приєднуватися до мережі напругою 660 В (з'єднання обмоток зіркою) та 380 В (з'єднання трикутником). Вторинну обмотку для одержання напруги 230 В з'єднують зіркою, а для напруги 133 В – трикутником. Трансформатор ТСШ-4/07-38 має додаткову вторинну обмотку на напругу 38 В.




а) б)

Рис. 13.10. Схема приєднання освітлювального трансформатора: а) ТСШ; б) АПШ

Трансформатори ТСШ приєднуються до мережі 380 або 660 В через магнітний пускач ПВИ (рис. 13.10, а). Зі сторони нижчої напруги (127 чи 220 В) освітлювальну мережу вмикають та вимикають ручним пускачем ПРВ-3 або

ПРШ-1. Для контролю ізоляції та захисного вимкнення мережі 127 або 220 В використовують реле витоку (РВ) на землю.

Для живлення освітлювальних мереж при будівництві місцевих підземних споруд широко використовують сухі трансформатори серії ТСЗ.

Для живлення дільничих освітлювальних мереж напругою 127 В широко використовують пускові агрегати АПШ-1М та АПВИ-1140, які приєднуються безпосередньо до силової мережі без будь- якої захисної апаратури (рис. 13.10, б), оскільки вони оснащені автоматичним вимикачем та реле витоку на землю.

Живлення електроенергією стаціонарних освітлювальних установок шахт та рудників звичайно виконується за допомогою трижильних броньованих кабелів з паперовою ізоляцією (СБ, СБГ) з перерізом від 3х4 до 3х16 мм$^2$ (свинцева оболонка використовується в якості заземлюючої жили).

Переносні освітлювальні мережі виконуються за допомогою гнучких кабелів типів КРПСН, ГРШЕ, КОГВЕШ. Для комутації освітлювальних мереж в шахтах небезпечних за газом та пилом використовують трійникові муфти ТМ у виконанні РВ. Трійникова муфта ТМ-6 призначена для з’єднання та відгалуження чотирижильного гнучкого кабелю перерізом до 6 мм$^2$. Трійникова муфта ТМ-10М призначена для з’єднання трижильного броньованого кабелю перерізом до 10 мм$^2$ та відгалуження гнучкого кабелю перерізом до 6 мм$^2$. Трійникові муфти мають корпус із алюмінієвого сплаву, всередині якого кріпиться панель із фарфору з контактними шпильками.

Сучасні рудникові світильники РВЛ, РПЛ, РП приєднуються до мережі за допомогою двох кабельних вводів, що дає можливість при необхідності монтувати освітлювальну мережу без використання трійникових муфт.

Для швидкого приєднання та від’єднання відрізків гнучкого чотири- та п’ятижильного кабелів використовують вибухобезпечні штепсельні роз’єми РШ, що складаються з розетки та вилки в сталевих корпусах, з’єднаних між собою накидною гайкою.

Стаціонарне електричне освітлення в навколостовбурних дворах, квершлагах, відкатних штреках, ходках і інших капітальних виробках напругою 220 В мають комбіновані схеми, що включають елементи як радіальної так і магістральної схеми. Джерело живлення розміщують в центрі (середині) освітлювальних виробок, а кабельна освітлювальна мережа виконується у вигляді двох і більше радіальних кабельних відгалужень, прокладених в напрямку відповідних виробок. Максимальна довжина освітлювальної лінії в одну сторону визначається технічними параметрами: допустимою втратою напруги в мережі та максимально можливим перерізом робочої жили кабелю (при живленні від сухих трансформаторів)

$$L = \frac{4 \cdot S \cdot \gamma \cdot \Delta U_g \% \cdot U_н^2}{100 \cdot P}, \qquad (13.5)$$

де S – переріз жили кабелю, мм$^2$; γ – питома провідність матеріалу жили, Ом·м/мм$^2$; $\Delta U_g$% – допустима втрата напруги, % від номінальної напруги $U_н$; P – навантаження лінії, Вт (рівномірно розподілене вздовж всієї довжини, тобто можна прийняти навантаження P розташованим в центрі на відстані L/2).

При живленні освітлення від пускового агрегату з нерегульованою уставкою максимального захисту довжина лінії освітлення в одну сторону може бути обмеженою необхідністю забезпечення надійності спрацювання максимального захисту при КЗ в кінці лінії, тобто

$$\frac{I_{к.з.\min}}{I_у} \geq 1{,}5, \qquad (13.6)$$

де $I_{к.з.\min}$ – струм двохфазного КЗ в кінці лінії; $I_у$ – струм спрацювання захисту.

Тому для протяжних виробок можуть бути встановлені додаткові джерела живлення освітлення, які в свою чергу приєднуються до силової мережі за магістральною схемою.

На рис. 13.11 наведені принципові схеми освітлення головних виробок: комбінована (зліва), магістральна (справа).

За магістральною схемою звичайно виконується освітлення довгих перегінних тунелів при будівництві метрополітенів, колекторних тунелів і т. п. Освітлювальні мережі при цьому можуть виконуватись кабелями або ізольованими проводами з гумовою або поліхлорвініловою ізоляцією, прокладеними на фарфорових ізоляторах. Мережі робочого і аварійного освітлення повинні бути роздільними і живитись від незалежних джерел, або аварійне освітлення підключається автоматично на незалежне джерело при аварійному режимі.

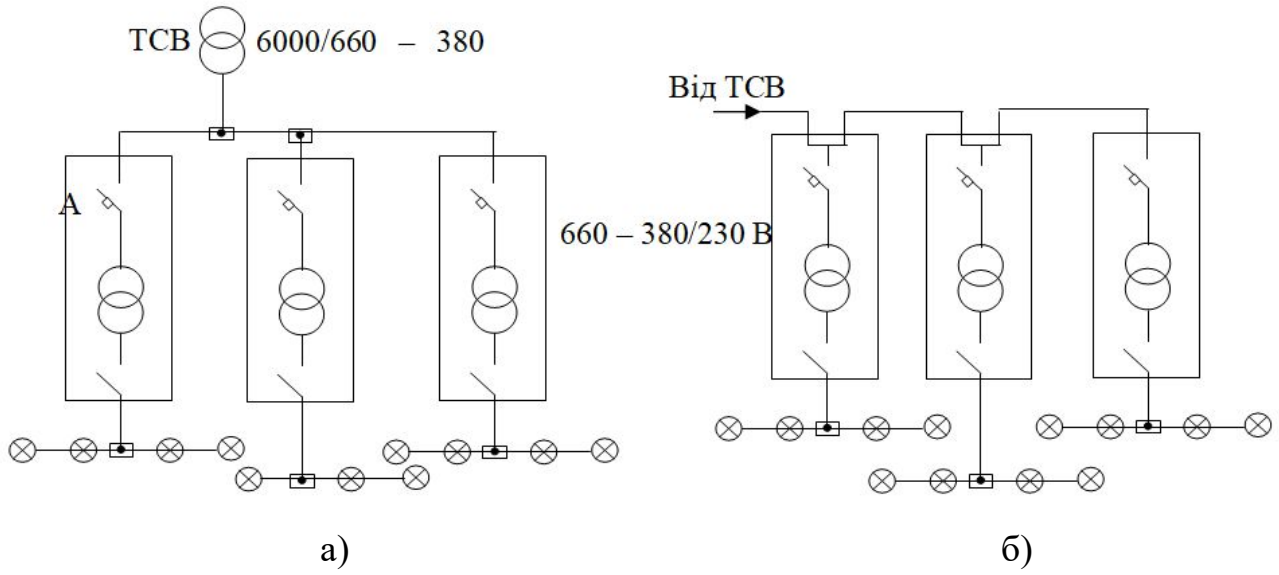



Рис. 13.11. Принципові схеми освітлення головних відкатних виробок:
а) комбінована; б) магістральна

В вугільних шахтах, що розробляють пологі та похилі пласти, очисні вибої, обладнані механізованими комплексами, незалежно від потужності пласта повинні мати мережеве освітлення з напругою, що не перевищує 127 В. В рудниках очисні вибої освітлюються переносними світильниками напругою 36 В. При висоті камер більше 4 м для їх освітлення використовують прожектори напругою 127 В. Прожектори використовують також в підземних виробках висотою вище 4 м при будівництві міських підземних споруд.

Освітлення робочих зон підготовчих виробок при їх проходці механізованим способом виконується світильниками (фарами), встановленими безпосередньо на гірничих машинах, а також, в окремих випадках, встановленням мережевих світильників на машині або над машиною, що живляться від пускового агрегату, розташованого на розподільчому пункті. Найбільш раціональним є варіант з установкою на машинах місцевого освітлення (фари) з шарнірною підвіскою, що дозволяє машиністу змінювати напрям світлового променю. Освітлення розподільчих пунктів, перевантажувальних пунктів, інших окремих об'єктів забезпечується за допомогою мережевих світильників 36 В, які живляться від понижуючих трансформаторів рудникової апаратури, наприклад, магнітних пускачів (рис. 13.12).

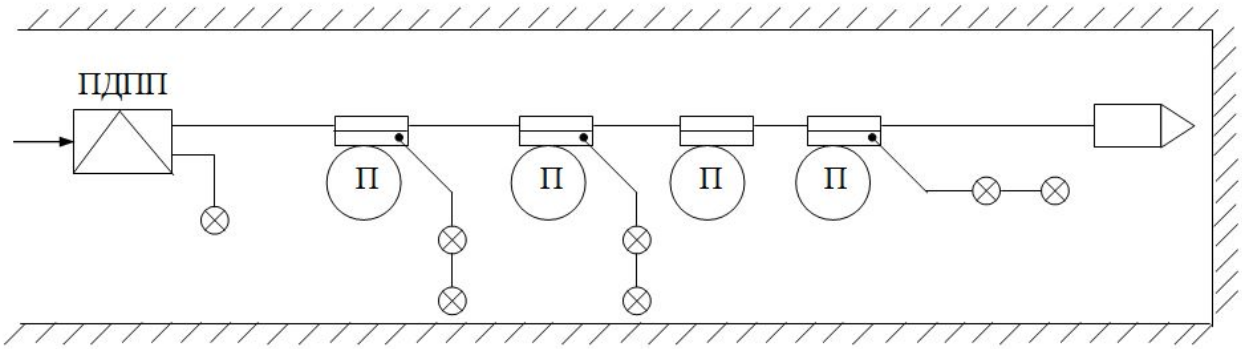



Рис. 13.12. Схема електропостачання світильників підготовчого вибою

На відкритих гірничих роботах використовують системи загального, місцевого та комбінованого освітлення.

Загальне освітлення на відкритих роботах здійснюється за допомогою:

- переносних світильників зовнішнього освітлення, що розташовуються на опорах ліній електропередач вздовж фронту робіт;

- стаціонарних або пересувних прожекторних установок, розташованих на зовнішніх бортах та на уступах кар'єру;

- освітлювальних установок з потужними ксеноновими лампами, що розташовуються на зовнішніх бортах, внутрішніх відвалах та в самому кар'єрі.

Перші два способи використовують на невеликих кар'єрах, треті – на потужних кар'єрах зі значними розмірами та глибиною.

При системі місцевого освітлення інтенсивно освітлюються окремі види робіт, що мають незначну площу (місце роботи бурильного верстату, екскаватора та ін.). Місцеве освітлення виконується світильниками та поодинокими прожекторами, встановленими на механізмах або пересувних опорах. Використання тільки місцевого освітлення не допускається.

Найбільш поширеною є комбінована система освітлення, що включає загальне освітлення кар'єру, та місцеве освітлення окремих робіт.

При загальному освітленні за допомогою світильників фронту гірничих робіт, вони розташовуються на пересувних опорах, розташованих рядами, або підвішуються на тросах. Світильники з опорами перемішують по мірі пересування фронту робіт. При освітленні залізничних та автомобільних шляхів світильники встановлюють на пересувних чи стаціонарних опорах, розташованих вздовж шляху через 25-30 м. Місцеве освітлення насосів, компресорів, приводів стрічкових конвеєрів та ін. реалізуються світильниками на пересувних опорах, розташованих поблизу механізмів. Стрічкові конвеєри можуть освітлюватись також світильниками, розташованими на металічних опорах, що кріпляться на металічних конструкціях конвеєрів.

Для загального прожекторного освітлення використовують стаціонарні та пересувні опори (дерев'яні, металеві, залізобетонні), висота яких не перевищує 10-15 м. На одній щоглі може встановлюватись група прожекторів (з двох і більше штук).

Виконання перелічених систем пов'язане з використанням великої кількості прожекторів і світильників, великої протяжності освітлювальних ЛЕП, з незручністю експлуатації пересувних опор. Крім того, на кар'єрах, де ведуться вибухові роботи необхідне виконання пристосувань для захисту освітлювальної апаратури від механічної дії вибухової хвилі та уламків породи, що розлітаються при вибухах. Тому на сучасних кар'єрах широко використовують потужні

освітлювальні установки для освітлення всієї площі кар'єру на базі світильників з ксеноновими лампами. В цьому випадку світильники встановлюються на стаціонарних опорах, розташованих не на робочому борту.

Для живлення прожекторних освітлювальних установок і установок зі світильниками використовують трансформатори типу ТМ напругою 6000/230 В та сухі трансформатори ТС невеликої потужності напругою 400/133 та 400/230 В, що встановлюються безпосередньо в пересувні трансформаторні підстанції. Живлення віддалених освітлювальних установок в кар'єрі та установок на відвалах здійснюється звичайно від трансформаторів типу ОМ напругою 6000/230 В, що встановлюються на опорах ЛЕП 6 кВ.

Захист освітлювальної мережі від струмів КЗ передбачається плавкими запобіжниками або автоматичними вимикачами, встановленими в пересувних трансформаторних підстанціях, шафах або безпосередньо на ЛЕП. Кар'єрна освітлювальна мережа виконується за допомогою кабельних ліній або повітряних сталеалюмінієвих проводів.

## Контрольні запитання

*1. Що таке освітлювальні прилади? Як вони класифікуються, та які характеристики мають?*

*2. Опишіть освітлювальні установки гірничих підприємств.*

*3. Опишіть схеми електропостачання світильників на гірничих підприємствах.*

*4. Які світильники використовують у вибухонебезпечному середовищі?*

*5. Якими кабелями виконується живлення переносних освітлювальних приладів у підземних виробках?*

# ЛЕКЦІЯ 14. Трансформаторні підстанції гірничих підприємств

14.1. Загальні відомості.

14.2. Підземні трансформаторні підстанції та розподільчі пункти.

14.2.1. Класифікація підземних підстанцій та розподільчих пунктів.

14.2.2. Шахтні трансформатори.

14.2.3. Центральні підземні підстанції.

14.2.4. Розподільчі підземні пункти та стаціонарні трансформаторні підстанції.

14.2.5. Пересувні трансформаторні підземні підстанції.

14.3. Пересувні комплектні трансформаторні підстанції на кар´єрах.

14.4. Підстанції на промислових майданчиках.

## 14.1. Загальні відомості

За призначенням розрізняють підстанції:

- головні понижуючі (ГПП, ПГВ) – для приймання електроенергії з енергосистеми, пониження напруги живлення 35-110 кВ до напруги розподілення електроенергії на підприємстві 6(10) -35(110) кВ;

- центральні розподільчі (ЦРП) – для приймання електроенергії з енергосистеми та розподілу її на території підприємства на тій самій напрузі без трансформації. Сюди можна віднести також центральні підземні підстанції (ЦПП);

- розподільчі пункти (РП) – для приймання електроенергії, як від енергосистеми так і від ГПП на тій самій напрузі без трансформації та розподілу її по цехових та дільничних підстанціях. До них відносять також підземні розподільчі пункти РПП-6;

- цехові чи дільничні трансформаторні підстанції (ТП) – для приймання електроенергії в системі електропостачання підприємства напругою 6(10) кВ з наступною трансформацією на напругу 1.2-0.4/0.23 кВ та її розподіл в цехах та дільницях на цій напрузі;

- перетворювальні (ПП) – для приймання електроенергії в системі електропостачання підприємства напругою 6(10)-110 кВ та перетворення електроенергії змінного струму в електроенергію постійного струму напругою, що вимагається умовами електрифікованого транспорту на підприємстві.

За конструктивним виконанням розрізняють підстанції: відкриті, закриті, щоглові, пересувні.

За розташуванням на території підприємства підстанції поділяються на вбудовані, прибудовані (як відкриті так і закриті), окремо розташовані та підземні.

Як головні (ГПП), так і інші підстанції, розташовані на промислових майданчиках геотехнічних підприємств та в інших місцях на поверхні шахт, рудників та кар’єрів виконуються за типовими проектами, що використовуються також в інших галузях промисловості. При цьому орієнтуються на широке використання комплектних підстанцій.

Можуть бути використані спрощені схеми первинних з’єднань ГПП без вимикачів на стороні 35-110 кВ: з короткозамикачами та відокремлювачами при потужності короткого замикання більшій розривної потужності вимикачів або з роз’єднувачами та стріляючими запобіжниками в межах їх параметрів за напругою, струмом та розривною потужністю. Підстанції з вимикачами на первинній напрузі 35-110 кВ використовують, якщо вони є транзитними або цього вимагають умови зовнішнього середовища. На геотехнічних підприємствах ГПП будують з відкритим виконанням розподільчої установки напругою 35-110 кВ та трансформаторів із закритим виконанням РУ-6(10) кВ.

В цехах з нормальним середовищем (механічні майстерні, насосні станції та їм подібні) використовують комплектні трансформаторні підстанції для

внутрішньої установки з масляними і сухими трансформаторами. При неможливості вбудови чи прибудови трансформаторних підстанцій в виробничі цехи, можливе використання комплектних трансформаторних підстанцій зовнішньої установки. Їх рекомендують використовувати біля насосних станцій, вентиляційних шурфів та інших віддалених об'єктів. Для електропостачання окремих або групи цехів на промисловому майданчику рекомендують використовувати окремо розташовані трансформаторні підстанції ТП-10/0.4-0.23 кВ в типовому проектному виконанні.

В цьому розділі нижче більш детально розглядаються підстанції, розташовані в підземних виробах шахт та рудників та безпосередньо в кар'єрах, при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

## 14.2. Підземні трансформаторні підстанції та розподільчі пункти

### *14.2.1. Класифікація підземних підстанцій та розподільчих пунктів*

За призначенням, функціями та місцями розташування підземні трансформаторні підстанції поділяються на центральні (ЦПП), дільничі (ДПП), пересувні дільничні (ПДПП), та перетворювальні (ППП). За строком служби на одному місці підземні підстанції поділяються на стаціонарні (строк служби не менше року) та пересувні. Практично стаціонарними є всі підземні підстанції, крім дільничих, які можуть бути, як стаціонарними (ДПП), так і пересувними (ПДПП).

Центральні підземні підстанції можуть бути: шахти (ЦПП), горизонту (ЦППг) та блоку (ЦППб) і використовуються для одержання електроенергії від ГПП, розподілу її та живлення електроспоживачів відповідно шахти, горизонту, блоку.

Для одержання електроенергії від ЦПП та розподілу її між підстанціями використовуються підземні розподільчі пункти високої напруги РПП-6(10).

Призначенням перетворювальних підстанцій (ППП) є одержання електроенергії змінного струму від ЦПП чи РПП-6(10), перетворення її в постійний струм та живлення електроспоживачів підземної електровозної відкатки.

За допомогою дільничих підстанцій (ДПП) електроенергія напругою 6-10 кВ перетворюється на напругу 0,66(0,38) кВ та розподіляється між електроспоживачами. Пересувні підстанції (ПДПП) використовують для перетворення електроенергії з напруги 6-10 кВ на напругу 0,66, (1,14, 0,38) кВ та живлення споживачів добувних та підготовчих дільниць. Пересувні підстанції, на відміну від стаціонарних, є комплектними і включають в себе необхідне високовольтне і низьковольтне обладнання. Для одержання електроенергії від підземної підстанції (ПДПП чи ДПП) та розподілу її між електроспоживачами служить підземний розподільчий пункт низької напруги РПП-0.66 (1,44, 0,38) кВ. вони також бувають стаціонарними та пересувними, тому що використовуються для живлення стаціонарних та пересувних електроспоживачів.

Камери ЦПП, ППП, РПП-6 та ДПП повинні бути:

- закріпленими негорючими матеріалами (бетон, цегла, металеве кріплення з залізобетонними затяжками;

- мати два виходи при довжині камери більше 10 м;

- оснащені вентиляційними дверима (решітчатими, нормально закритими) та металевими протипожежними (суцільними) дверима та вікнами (нормально відкритими). За відсутності в камері електрообладнання з мастилом протипожежні двері необов’язкові.

Основним обладнанням підземних підстанцій є комплектні розподільчі пристрої, трансформатори, перетворювальні агрегати, комутаційна апаратура напругою до 1140 В (див. розділ 3). Все електрообладнання підстанцій повинно бути надійно заземленим. В ЦПП та РПП-6 на кожній секції шин слід передбачати встановлення одного резервного КРП, повністю обладнаного та приєднаного до шин, та місце для встановлення одного КРП додатково в майбутньому.

### *14.2.2. Шахтні трансформатори*

Для перетворення електричної енергії при електропостачанні підземних робіт нині використовують сухі трансформатори переважно з кремнійорганічною ізоляцією серії ТСВ. Шахтний трансформатор складається з активної частини (власне трансформатор), оболонок вводів на напругу вищої та окремо нижчої сторін і ходової частини.

Конструкція шахтного трансформатора визначається способом забезпечення вибухозахисту та системою охолодження активної частини. Магнітопровід трансформатора – трифазний, стрижневий, виготовлений з холоднокатаної сталі. Обмотки НН виконані циліндричними двошаровими, обмотки ВН – багатошарові та неперервно котушкові (для потужностей 400-630 кВА). Система охолодження – повітряна, недостатньо ефективна, що вимагає використання більш нагрівостійкої кремнійорганічної ізоляції класу Н. Для покращення охолодження трансформатори мають круглий (100,160 кВА) ребристий корпус.

Вибухобезпека обмотки трансформатора забезпечується за допомогою щілинного (фланцевого) вибухозахисту.

Для електропостачання високопродуктивних комплексів використовують трансформатори потужністю 1000 кВА (ТСВ-1000/600) з вторинною напругою 1200 В. Цей трансформатор має обмотки, зібрані з дискових катушок з ізоляцією “Моноліт” класу нагрівостійкості F, прямокутну оболонку з гофрованими бічними стінками; для покращення вибухозахисту та підвищення теплопередачі корпус засипано гідрофобізованим кварцевим піском.

Крім природного повітряного охолодження трансформатор має випарювально-конденсаційну систему, в якості елементів якої використані теплові труби, встановлені в обмотках та в магнітопроводі, теплоносієм є дистильована вода. Це дозволило збільшити потужність трансформатора в 1.5 рази, порівняно з трансформатором з природнім повітряним охолодженням.

При електрифікації шахт з крутопадаючими пластами, небезпечними за раптовими викидами, до високовольтних мереж висувають підвищені вимоги відносно струмів витоку на землю. Для цього необхідно багаторозгалужену шахтну високовольтну мережу розділяти на окремі дільниці, гальванічно не зв'язані одна з іншою. Для електричного розділення мережі та зменшення ємнісних струмів замикання на землю використовують розділяючий трансформатор ТСВР-630/6-6, що має конструкцію аналогічну трансформаторам ТСВ.

Для живлення випрямляючих агрегатів АТП-500/275 та АТП-500/600 промисловість випускає трансформатор ТСП-160, що має рудникове нормальне виконання.

### *14.2.3. Центральні підземні підстанції.*

ЦПП являє собою камеру з вогнестійким кріпленням, в якій розташовані розподільчі пристрої високої напруги РУ6(10) кВ, понижуючі трансформатори (підстанції) та розподільчий пункт нижчої напруги.

Спорудження ЦПП виконується за типовими проектами, що мають два варіанти: з двома вводами та одним РУ-6 кВ на максимальне навантаження 630 А; з чотирма вводами та двома РУ-6 кВ на максимальне навантаження 1260 А. Кожен ввід може складатися з одного чи двох кабелів – в залежності від навантаження та перерізу кабелів, що використовуються.

Як правило, ЦПП проектують з двома вводами та одним РУ-6 кВ, і тільки при неможливості забезпечити навантаження шахти за допомогою двох вводів приймають чотири вводи та два самостійні РУ-6 кВ, кожний на два вводи. Кожний РУ-6кВ ЦПП має дві секції шин, що з'єднуються між собою за допомогою секційного КРП. При виконанні аварійної ситуації на якій-небудь секції шин ГПП, РУ-6 кВ ЦПП або кабельній лінії секційне КРП перемикає живлення всіх споживачів, приєднаних до ЦПП, від пошкодженої секції на

непошкоджену. Типовий проект з чотирма вводами має два варіанти, які відрізняються один від одного способом живлення насосів головного водовідливу.

Перший варіант передбачає установку до 30 КРП, змонтованих в два двосекційних РУ-6 кВ (10 – в першому та 20 – у другому) і живлення насосів від першого РУ-6 кВ (решта електроспоживачів ЦПП живиться від другого РУ-6). Цей варіант використовують, коли потужність електродвигунів насосів водовідливу не перевищує 1250 кВт. При більшій потужності електродвигунів насосів доцільно використовувати другий варіант, коли в ЦПП монтується один двосекційний РУ-6 з 25 КРП, від якого живляться всі споживачі ЦПП, крім насосів водовідливу. Останні одержують електроенергію від КРП встановлених в ЦПП окремо та приєднаних безпосередньо до ГПП (кожний зі своїм кабелем).

Для забезпечення електричною енергією електроспоживачів навколостовбурного двору напругою 0,66 кВ в ЦПП встановлюється два понижуючі трансформатори або підстанції ТСВП потужністю до 400 кВА, які мають 100% резерв та приєднуються до різних секцій шин РУ-6 кВ. Передбачається їх роздільна робота. При використанні в шахті контактних електровозів, як правило, тягова підстанція встановлюється в ЦПП. Схеми розташування обладнання в ЦПП наведена на рис. 14.1.

Електрообладнання ЦПП розташовується в навколостовбурному дворі в спеціальній камері, яка безпосередньо примикає до камери головного водовідливу (рис. 14.2).

Між камерою ЦПП та камерою водовідливу встановлюються протипожежні та решітчаті двері. Для сполучення камери ЦПП з виробками навколостовбурного двору проводять ходок, де також встановлюються решітчата та протипожежні двері. Рівень підлоги ЦПП повинен бути на 0.5 м вище головки рейок в навколостовбурному дворі. Електрообладнання в камері встановлюється так, щоб місця, доступні для проникнення води до струмоведучих частин в електрообладнанні, були на висоті (не менше 1 м від рейок в навколостовбурному

дворі). Розміри камери ЦПП визначаються габаритами електрообладнання та розмірами монтажних проходів відповідно ПБ.

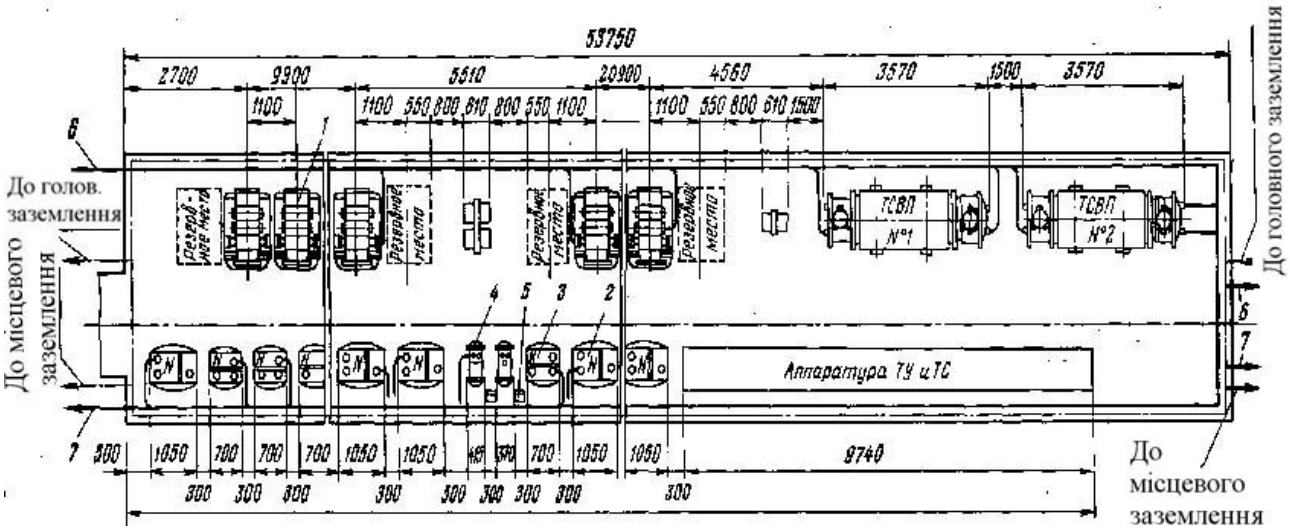



Рис. 14.1. Схема розміщення електрообладнання в камері ЦПП з чотирма вводами: 1 – КРУВ-6ХЛ5; 2 – автоматичні вимикачі; 3 – пускачі магнітні; 4 – трансформатори освітлювальні; 5 – пускачі ручні; 6 – кабелі напругою 6кВ; 7 – кабелі напругою до 1000 В

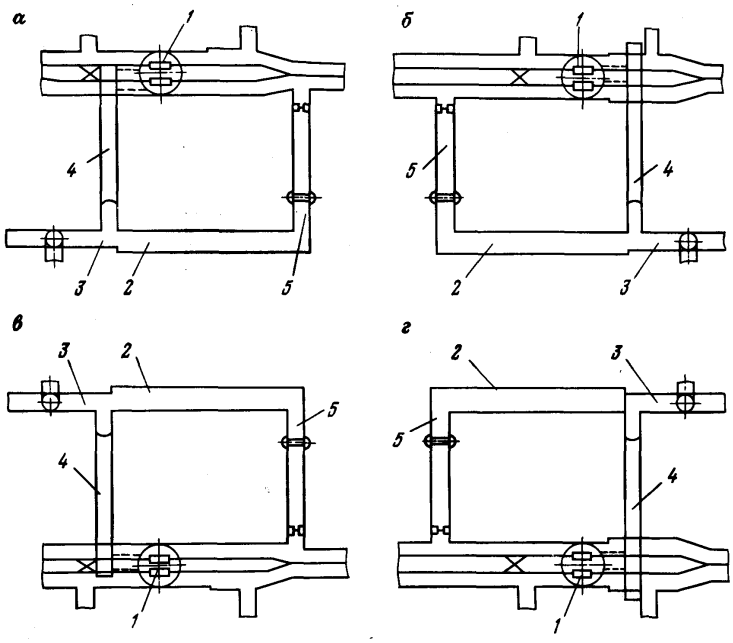



Рис. 14.2. Схеми примикання камери ЦПП до відкаточних виробок при розміщенні горизонтального ходка справа (а, в), зліва (б, г): 1 – допоміжний стовбур; 2 – камера ЦПП; 3 – насосна камера; 4 – водотрубний ходок; 5 – горизонтальний ходок

### *14.2.4. Розподільчі підземні пункти та стаціонарні трансформаторні підстанції.*

Розподільчі підземні пункти РПП-6(10) кВ являють собою стаціонарні РУ, що складаються із КРП і служать для розподілу електроенергії напругою 6(10) кВ в підземних виробках та електропостачання підземних електроспоживачів. РПП розташовуються в центрі електричного навантаження і монтуються в камерах з негорючим кріпленням.

РПП-6 виконують з одною чи двома секціями шин. Згідно з типовими проектами, в залежності від схеми комутації, установки трансформаторів для живлення електроспоживачів напругою 0,66 кВ, що розташовані в виробках, які знаходяться поблизу, від способу сполучення камер з капітальними виробками РПП-6 поділяються на:

- прилеглі до відкатних виробок (з однією секцією шин 6 кВ, без трансформатора або з ним, та довжиною не більше 10 м);
- з ходками, які сполучають камери з відкатними виробками (з однією та двома секціями шин, з трансформаторами та без них, довжина може досягати 30 м).

Поперечні розміри камер прилеглих виробок та ходків, розташування обладнання в камері, розміри проходів та проміжків витримують у відповідності з вимогами ПБ. При встановленні в РПП-6 пересувних дільничних підземних підстанцій (ПДПП) розподільчий пункт РПП-0.66(1.14) кВ доцільно розташовувати по можливості поза камерою РПП-6. Приклад розташування електрообладнання в РПП-6 наведено на рис. 14.3.

Кількість вводів в РПП-6(10) кВ залежить від кількості приєднань, кількості добувних вибоїв, що живляться від РПП-6 та величини навантаження. При кількості приєднань до трьох кабель вводу може приєднуватись до секцій шин наглухо без ввідного КРП. При кількості приєднань чотири та більше на вводі обов’язково ставиться вхідний КРП. При кількості приєднань від чотирьох до

семи передбачається встановлення одного резервного КРП. При живленні від РПП-6 двох і більше добувних вибоїв або кількості приєднань більше семи РПП-6 виконується двосекційним і живиться за допомогою двох кабелів.

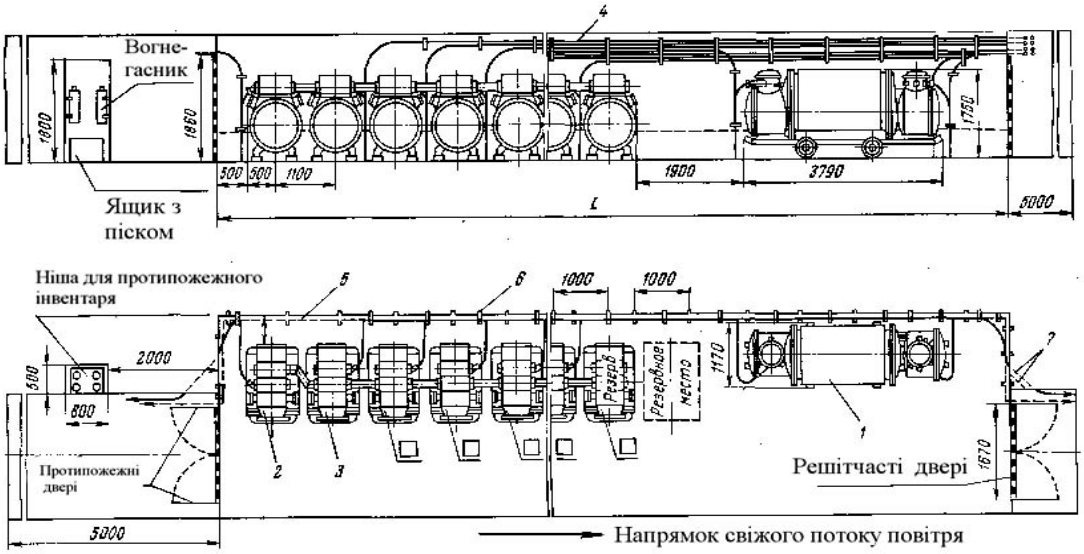



Рис. 14.3. План та розріз типового РПП-6 з ходками та з трансформатором:
1 – трансформатор; 2 та 3 – КРП-6 вводу та фідерний; 4 – кабелі; 5 – заземлення; 6 – кронштейн для підвіски; 7 – труби для вводу кабелів

Для кріплення камер РПП-6, примикаючих виробок та ходків використовують наступні види кріплення: бетонне з вертикальними стінками та склепистим перекриттям; з залізобетонними затяжками.

Типові схеми розташування камер РПП-6 з ходками відносно гірничих виробок показані на рис. 14.4.

Стаціонарні дільничні підземні підстанції (ДПП), що використовуються для живлення стаціонарних електроспоживачів, можуть комплектуватися як трансформаторами ТСВ, так і трансформаторними підстанціями ТСВП. В першому випадку в ДПП встановлюються комплектні розподільчі пристрої (КРП), трансформатори, автоматичні вимикачі та реле витоку на землю (рис. 14.5).

ДПП споруджують в камерах з вогнестійким кріпленням, виконуються аналогічно камерам РПП-6, при цьому низьковольтне обладнання розташовується на стороні камери, протилежній від місця установки високовольтного електрообладнання.

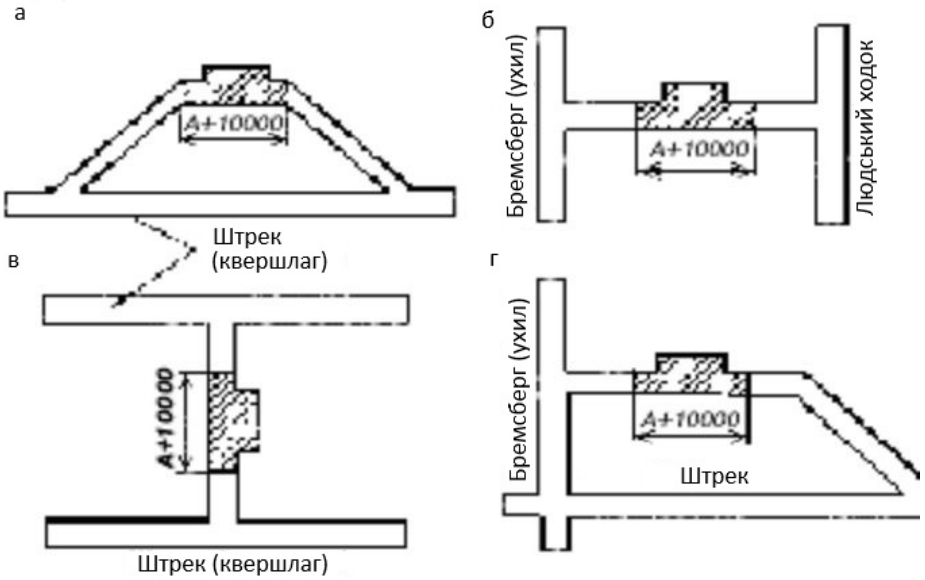



Рис. 14.4. Типові схеми розташування камер РПП-6 з ходками:
а) паралельно відкотній виробці; б) між бремсбергом (ухилом) та людським ходком;
в) між двома паралельними виробками; г) на перетині двох виробок

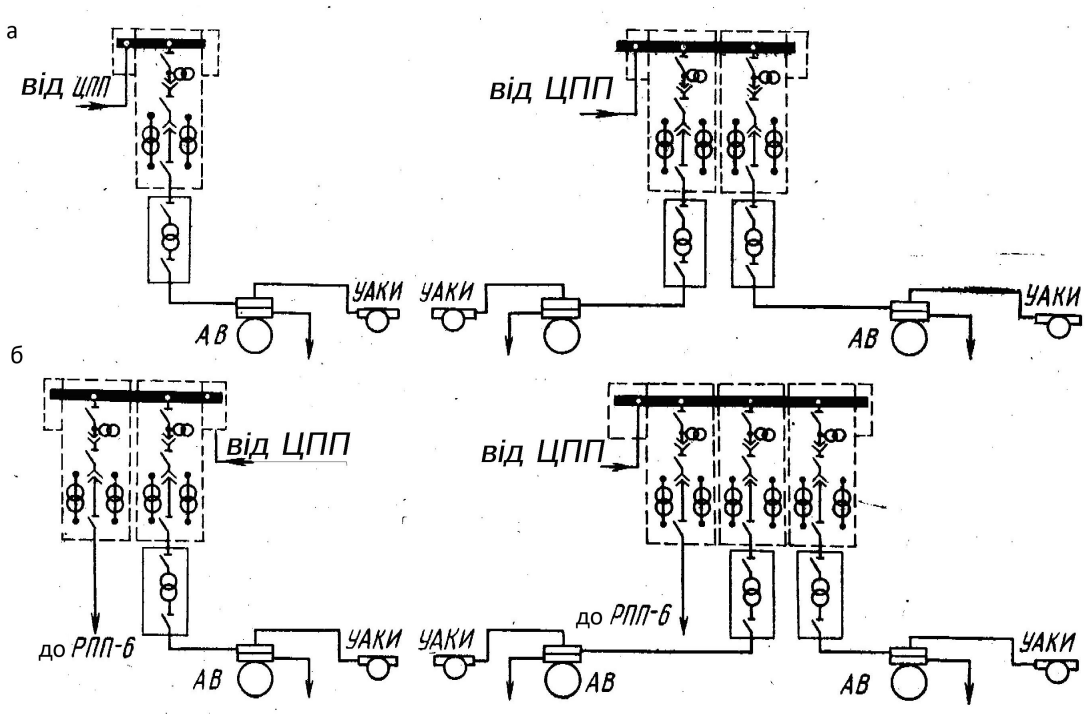



Рис. 14.5. Принципові схеми типових ДПП: а) з розподілом електроенергії напругою до 1000 В; б) з транзитом електроенергії напругою вище 1000 В

При використанні в ДПП пересувних трансформаторів ТСВП установка КРП в ДПП не передбачається. Електроенергія від ЦПП чи РПП-6 до дільничної підстанції підводиться одним кабелем ЕВТ-6000 або іншим. При встановленні в ДПП двох ТСВП, другий трансформатор одержує живлення від першого транзитом.

Керування живлення КРП, що розташований в ЦПП чи РПП-6 виконується за допомогою поста керування розташованого в ніші підстанції, який з'єднується з КРП допоміжними жилами кабелю ЕВТ-6000. В підстанції не передбачається встановлення низьковольтного електрообладнання (РПП-0,66). На рис. 14.6 наведені план та розміри типової стаціонарної підстанції на два трансформатори ТСВП.

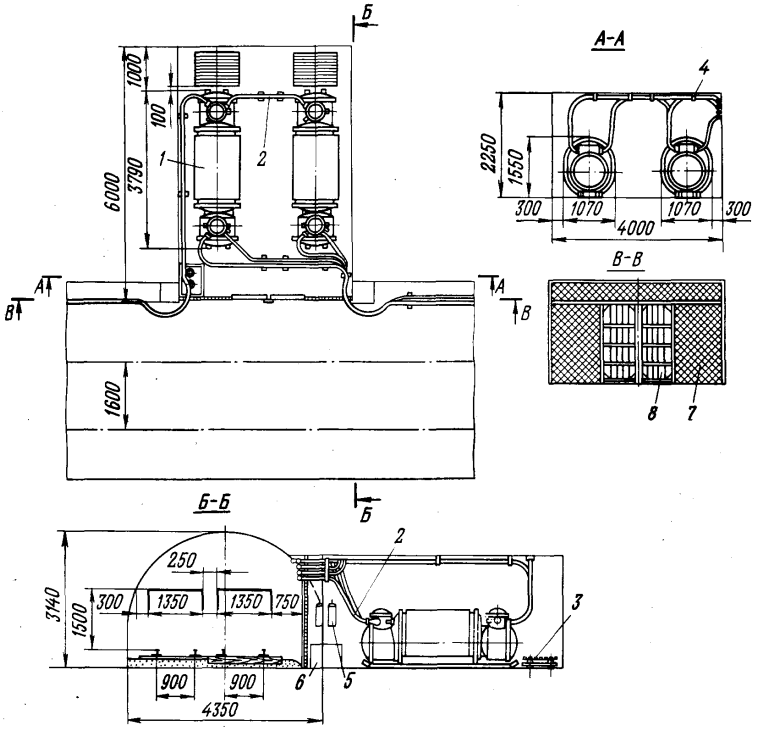



Рис. 14.6. План та розрізи типової стаціонарної підстанції (ДПП) на два трансформатори: 1 – трансформатори; 2 – кабелі; 3 – дерев'яні решітки на ізоляторах; 4 – кронштейн для підвіски кабелів; 5 – вогнегасники; 6 – ящик з піском; 7 – сітка сталева; 8 – решітчаті двері

### *14.2.5. Пересувні трансформаторні підземні підстанції.*

Для живлення електроспоживачів очисних та підготовчих дільниць шахт та рудників використовують пересувні комплектні трансформаторні підстанції (КТП). Висока мобільність, компактність КТП, об'єднання в єдиному агрегаті джерела живлення, комутаційної та захисної апаратури в найбільшій мірі відповідає умовам електропостачання енергоємного обладнання сучасних технологічних процесів при добуванні корисних копалин підземним способом. Серія пересувних комплектних трансформаторних підстанцій ТСВП потужністю від 100 до 1000 кВА розроблена на основі сухих трансформаторів ТСВ, має виконання РВ-4В. Ці підстанції складаються з розподільчого пристрою вищої напруги (РУВН), силового трансформатора, розподільчого пристрою нижчої напруги (РУНН) та ходової частини (рис. 14.7).

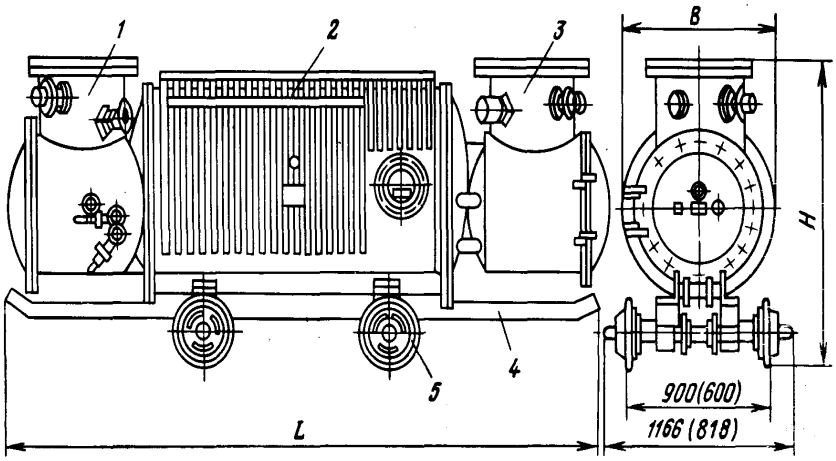



Рис. 14.7. Пересувна рудникова комплектна трансформаторна підстанція серії ТСВП: 1 – розподільчий пристрій вищої напруги (РУВН); 2 – силовий трансформатор; 3 – розподільчий пристрій нижчої напруги (РУНН); 4 – рама ходової частини; 5 – скати

РУВН підстанції являє собою триполюсний роз'єднувач-вимикач навантаження, що дозволяє відключати струм завантаженого трансформатора. Роз'єднувач розміщений у вибухобезпечній оболонці, яка приєднана за допомогою фланців до оболонки трансформатора. Роз'єднувач-вимикач навантаження має електромеханічний пристрій блокування з автоматичним

вимикачем РУНН. Вимикання роз'єднувача виконується поворотом рукоятки після повороту блокуючої ручки. При цьому одночасно вимикається коло нульового захисту вимикача КРП, від якого одержує живлення КТП та вимикається коло котушки вимикання автоматичного вимикача РУНН. Вмикання роз'єднувача виконується в зворотному порядку: спочатку вмикається роз'єднувач без навантаження, потім автоматичний вимикач РУНН та дистанційно вимикач КРП. Принципова електрична схема підстанції ТСВП наведена на рис. 14.8.

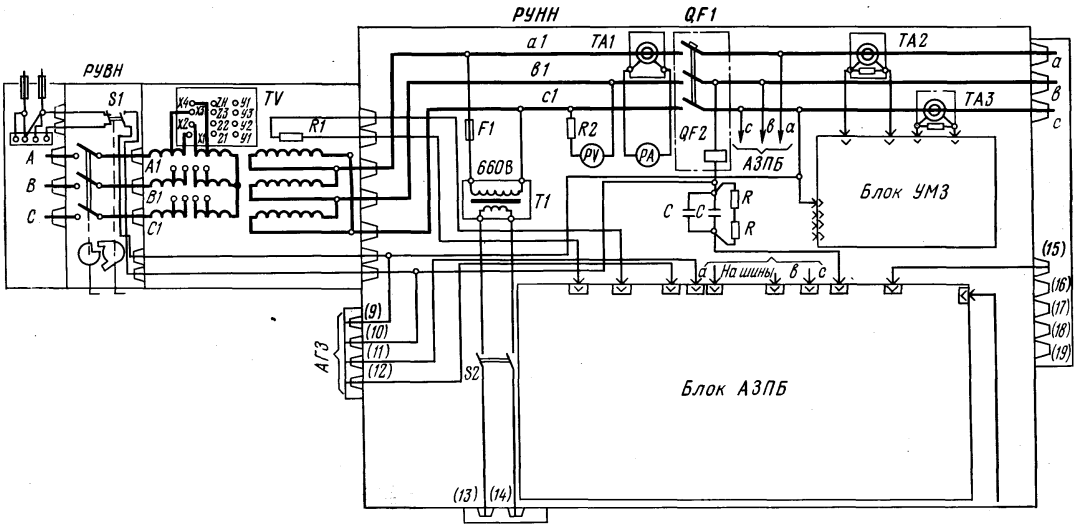



Рис. 14.8. Принципова електрична схема пересувної підстанції серії ТСВП

РУНН має наступний комплект апаратури та приладів: автоматичний вимикач А3722У (А3732У), що має нерегульований максимальний захист; нульовий та незалежний розчеплювач; апаратуру захисту від витоків на землю (АЗПБ); блок максимального струмового захисту (УМЗ); блок дистанційного відключення (ДО); блок живлення котушки нульового розчеплювача (127 В) та температурного і газового захистів (36 В); пристрій температурного захисту; вольтметр; амперметр; короткозамикач на основі контактора КТУ-2А; лампи сигналізації про спрацювання захистів.

Електрична схема КТП забезпечує: місцеве вмикання та вимикання ліній нижчої напруги, що відходять до споживачів, та дистанційне їх вимикання; захист від струмів КЗ та витоків на землю в мережі нижчої напруги; електричне

блокування та дистанційне їх вимикання; захист від струмів КЗ та витоків на землю в мережі нижчої напруги; електричне блокування, що виключає подачу напруги в мережу нижчої напруги при її пошкодженні чи зниженні опору ізоляції нижче нормованого значення; мінімальний захист, автоматичний контроль опору кола заземлення, автоматичне закорочення ліній нижчої напруги після їх вимикання; тепловий захист трансформатора.

В КТП з вторинною напругою 1140 В (ТСВП-630/6-1,2 та ТСВП-1000/6) використовується блок максимального захисту ПМЗ, блок захисного відключення Б30 та блок компенсації ємнісної складової струму витоку БКЗ-1140.

Для електропостачання підземних електроспоживачів вугільних шахт, що розробляють крутопадаючі пласти, небезпечні за раптовими викидами, призначені підстанції ТСВП-160/6-КП та ТСВП-400/6-КП.

Для роботи в мережах 10 кВ калійних рудників та вугільних шахт розроблені підстанції ТСВП-630/10, уніфіковані з підстанцією ТСВП-630/6.

З метою удосконалення схеми електропостачання видобувних та прохідницьких вибоїв розроблені комплектні трансформаторні підстанції серії ТСВЕ (енергопотяг), що замінюють собою трансформаторну підстанцію, автоматичний вимикач та розподільчий пункт, що складається з станції керування та набору пускачів. В серії знаходиться два трансформатори: ТСВЕ-400/6 та ТСВЕ-630/6. Енергопотяг складається з комплектного пристрою керування КУУВ-350 та трансформаторної підстанції. Підстанція має РУВН з вакуумним контактором, що дозволяє виконати захист трансформатора від струмів КЗ, перегріву обмоток, перенапруги.

Пересувні дільничні підземні підстанції (ПДПП) можуть розміщуватись над скребковим перевантажувачем, над скребковим конвеєром, в розширенні одноколійної виробки, на одній із колій двоколійної виробки, в двоколійній виробці з однією колією.

В першому (рис. 14.9) та другому (рис. 14.10) варіантах передбачено встановлення одної або двох ТСВП на спеціальних візках (над перевантажувачем)

або пересувних платформах (над конвеєром) в виробках з кутом падіння не більше 6°. При цьому між кріпленням та верхньою поверхнею ПДПП повинен бути проміжок не менше 500 мм, а між рамою конвеєра та ПДПП – не менше 250 мм.

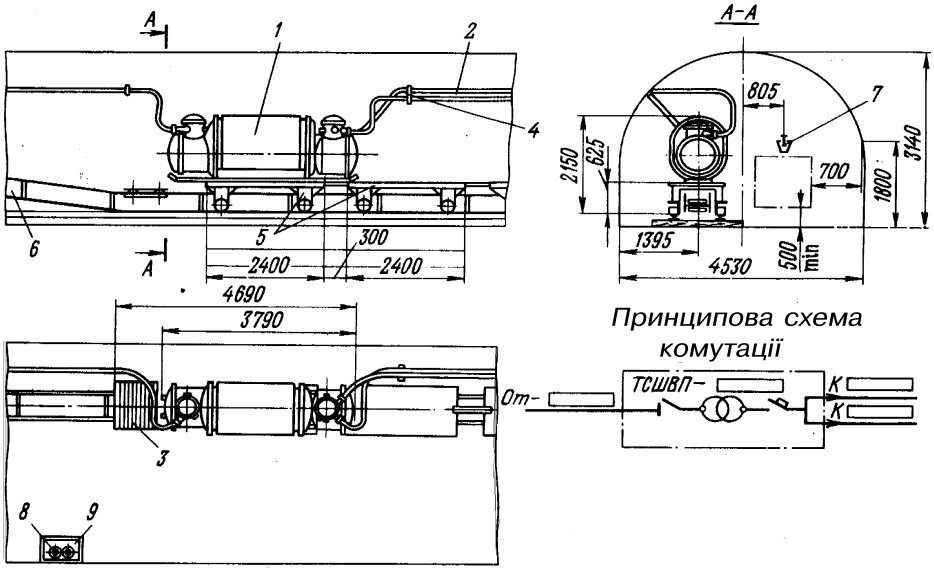



Рис. 14.9. Встановлення однієї ПДПП типу ТСВП над перевантажувачем
1 – ПДПП; 2 – кабелі; 3 – дерев'яна решітка на ізоляторах; 4 – кронштейн для підвіски кабелів; 5 – платформа для встановлення електрообладнання; 6 – перевантажувач; 7 – монорейкова дорога; 8 – вогнегасники; 9 – ящик з піском

ПДПП в одноколійній та двоколійній з однією колією виробках встановлюють на вільній частині на рейках (рис. 14.11); в нішах ПДПП встановлюють на грунт. Для захисту ПДПП від транспорту, що рухається, використовують стійки з рейок. При встановленні ПДПП на одній з колій двоколійної виробки частина шляху загороджується бар'єрами з двох сторін, щоб виключити заїзд транспорту, що рухається, на цю частину колії.

В усіх варіантах установки ПДПП з обох сторін повинні залишатись обслуговуючі простори з шириною не менше 1 м. Зі сторони вищої напруги передбачається розташування дерев'яної решітки розміром 1000х600 мм на ізоляторах.

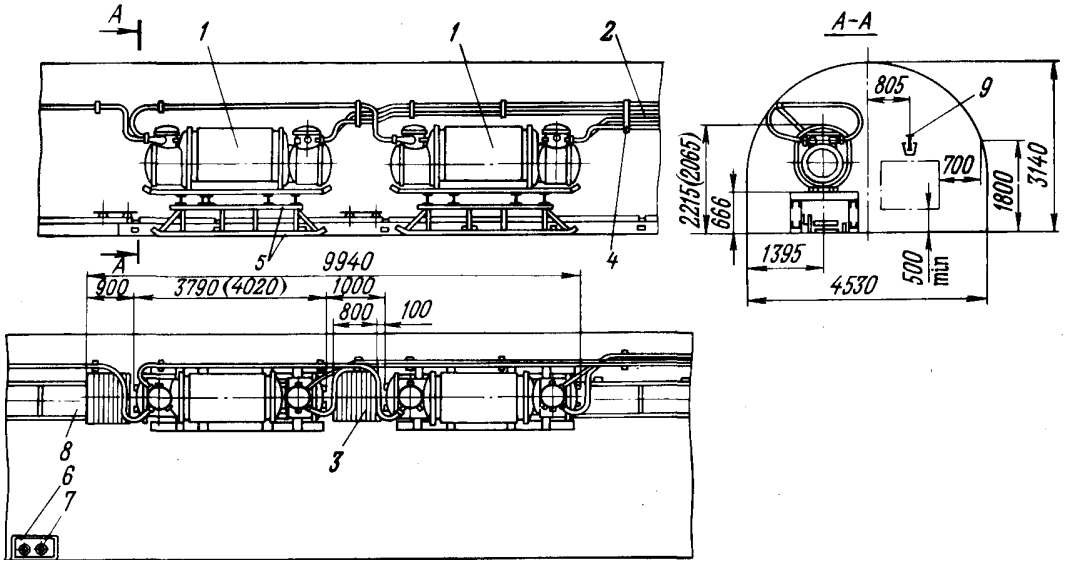



Рис. 14.10. Встановлення двох ПДПП над скребковим конвеєром: 1 – ПДПП; 2 – кабелі; 3 – дерев'яна решітка на ізоляторах; 4 – кронштейн для підвіски кабелів; 5 – платформа для встановлення електрообладнання; 6 – вогнегасник; 7 – ящик з піском; 8 – скребковий конвеєр; 9 – монорейкова дорога

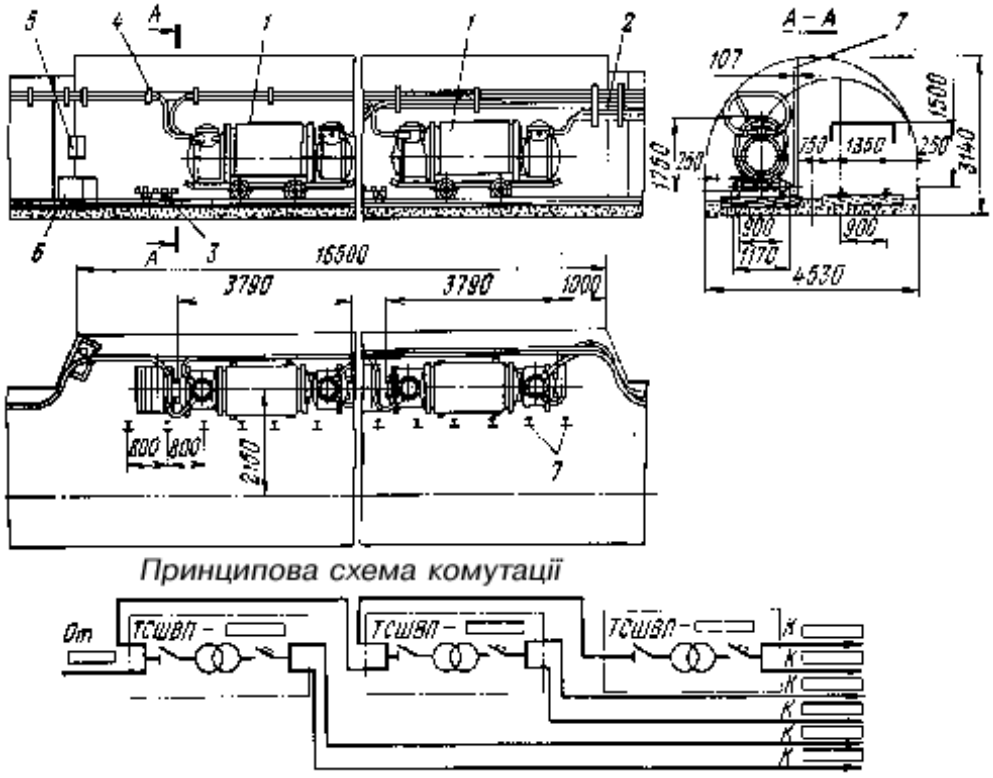



Рис. 14.11. Встановлення трьох ПДПП на розширенні одноколійної виробки: 1 – ПДПП; 2 – кабелі; 3 – дерев'яна решітка на ізоляторах; 4 – кронштейн для підвішування кабелів; 5 – вогнегасник; 6 – ящик з піском; 7– огородження

## 14.3. Пересувні комплектні трансформаторні підстанції на кар'єрах

Живлення екскаваторів та іншого гірничо-технологічного обладнання великої потужності від стаціонарних трансформаторних підстанцій 35-220/6-10 кВ при сучасних масштабах гірничих робіт обумовлює значну протяжність електричних мереж 6-10 кВ, з максимально допустимим перерізом провідників, що веде до великих втрат на спорудження та експлуатацію ЛЕП, зростання втрат електроенергії та погіршення якості напруги, що підводиться до споживачів. Окрім цього, швидка зміна розташування екскаваторів в кар'єрі вимагає використання пересувних комплектних трансформаторних підстанцій (ПКТП), завдяки яким можливий глибокий ввід напруги 35 кВ на робочі уступи. Так, для живлення кар'єрних (ЕКГ-8И, ЕКГ-12.5) та крокуючих екскаваторів (ЕШ-15/90А; ЕШ-25/100 та ін.) можуть використовуватись підстанції ПКТП 35/6-10 кВ з потужністю трансформатора 2500-10000 кВА.

Для електропостачання не тільки одноківшевих екскаваторів, а і інших пересувних гірничодобувних та гірничотранспортних машин великої потужності, а також інших споживачів при значній протяжності кар'єрних ліній використовуються ПКТП 35-220/6-10 кВ.

На сучасних кар'єрах використовують збірно-розбірні комплектні трансформаторні підстанції типу СКТП з трансформаторами потужністю 1600-4000 кВА напругою 35/6 кВ, які можуть використовуватись як стаціонарні, так і пересувні. Вони можуть розташовуватися на борту кар'єра та переміщуватися вздовж ЛЕП 35 кВ або розташовуватися на уступах незалежно від потужних екскаваторів. Підстанція має три блоки: РУ-35 кВ, трансформатор, РУ-6-10 кВ. Вони монтуються на санчатах. РУ-6-10 кВ має одинарну систему шин, трансформатор власних потреб, чотири- шість відходячих фідерів.

На кар’єрах в умовах низьких температур використовують ПКТП потужністю 2500-10000 кВА, розроблені фірмою ″Хітачі″, в триблочному виконанні з вакуумними вимикачами напругою 35 та 6 кВ.

Пересувні підстанції ПКТП потужністю до 10000 кВА на різні рівні напруги випускаються в США, Франції, Японії, Польщі, Чехії, Росії. Так, на вугільних розрізах країн СНД використовують ПКТП 35/6 кВ типу “Юлія” чеського виробництва, потужністю 1000-3150 кВА в моноблочному виконанні на пневматичному ходу.

Пересувна трансформаторна підстанція ПТИА-10000-35/6-10 складається з двох окремих візків, з’єднаних між собою механічно та електрично. В першому блоці розміщується трансформатор ТДП-10000/35, в другому – збірні шин РУ, що складається із шести КРП типу КРУН-6-10 кВ.

Підстанції (рис. 14.12) оснащені захистами та системами блокування відповідно вимогам ПБ, а також пристроями контролю цілісності заземлюючих кіл. Напруга 35 кВ через відокремлювач QR1 поступає на силовий трансформатор Т1. Зі сторони 35 кВ використовують розрядник FV1-FV3 та короткозамикач QK2. Напруга 6 кВ від трансформатора через вхідний КРП поступає на збірні шини РУ-6 кВ, що складається з п’яти вимикачів QF1-QF5 (вимикач ВК-10-630). В схемі використовується також трансформатор власних потреб Т2 (25 кВА) напругою 6,35/0,23 кВ, різні трансформатори струму (ТА) та напруги (TV). Підстанція ПТЛА-10000 використовується як в системі електропостачання кар’єрів (можуть встановлюватись безпосередньо на уступах) так і для електропостачання будівельних та інших тимчасових майданчиків.

Для електропостачання дільничних гірничих машин і приводів невеликої (120-300 кВт) потужності (бурових верстатів, насосів водовідливу, пересувних компресорних установок, невеликих конвеєрів, освітлювальних установок і т.п.) на відкритих гірничих роботах використовують пересувні комплектні підстанції ПКТП 6-10/0.4 кВ з трансформаторами потужністю від 25 до 630 кВА.

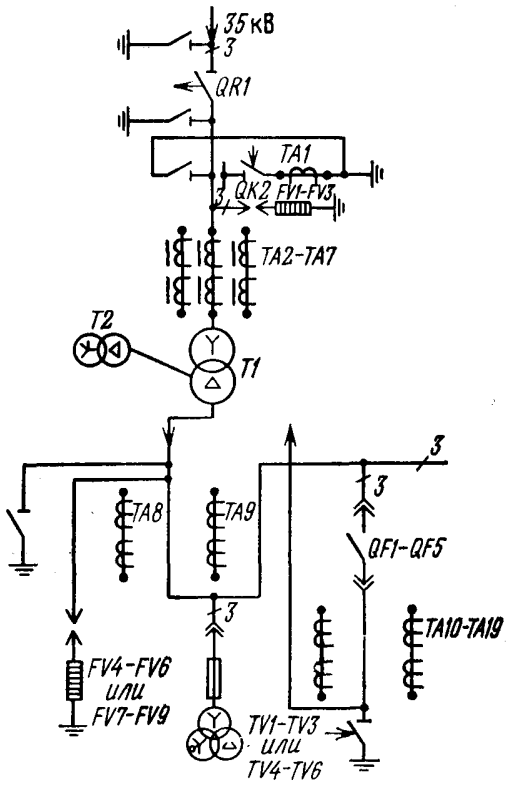



Рис. 14.12. Принципова електрична схема підстанції ПТЛА-1000-35/6-10

Пересувна комплектна підстанція ПКТП-400/6-10/0.4 кВ (рис. 14.13) складається з розподільчого пристрою 0.4 кВ 1, камери силового трансформатора 2, блоку повітряного вводу 3, високовольтного блоку 4, змонтовані на загальній рамі – санчатах 5.

Для приєднання підстанції до високовольтної лінії електропередачі використовується роз'єднувач з заземлюючими ножами, запобіжники типу ПК та розрядники РВП для захисту від струмів КЗ і перенапруги. Силові трансформатори мають ручне регулювання напруги. В підстанції встановлені три трансформатори власних потреб для живлення кіл освітлення, захисту та сигналізації.

Для розподілу електроенергії на нижчій напрузі (400 В) між споживачами та захисту від струмів КЗ та перевантажень, в підстанції використовуються автоматичні вимикачі серії А3700, АЕ2056, АП-50. Для захисту від однофазних замикань на землю в підстанції використовується асиметр, що діє на головний автоматичний вимикач.

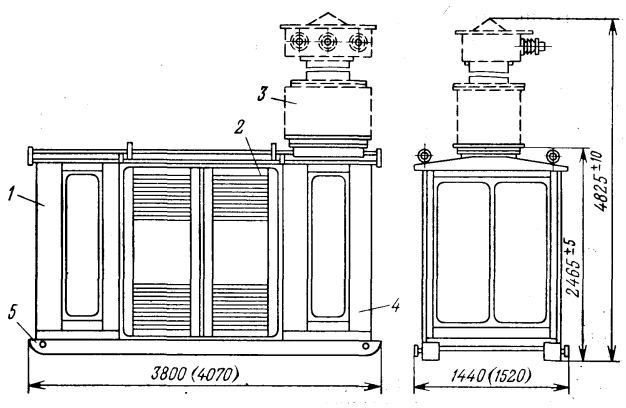



Рис. 14.13. Загальний вид пересувної підстанції ПКТП 400-6-10/0,4 (в дужках подані розміри ПКТП 630-6-10/0,4): 1 – розподільчий пристрій 0,4 кВ; 2 – камера силового трансформатора; 3 – блок повітряного вводу; 4 – високовольтний блок; 5 – санчата

Інститутом вибухобезпечного електрообладнання (Донецьк) розроблена пересувна комплектна підстанція типу ПСКТП (рис. 14.14) з сухим трансформатором потужністю 100, 250 та 400 кВА. Підстанції потужністю 100 кВА використовують для живлення освітлювальних установок, інші – для живлення силових установок. Підстанції монтуються на санчатах, оснащені необхідними затискачами та системами блокування, реле витоку і пристроєм контролю цілісності заземлюючих кіл відходячих кабелів при використанні кабелів марки КГ. Для захисту від витоків на землю використано блок АЗПБ. Захист силового трансформатора від перевантаження реалізується за допомогою теплового захисту, де контролюючим елементом є спеціальний датчик – реле (на схемі не показано). Трансформатор TV4 з обмотками на 36 та 127 В живить кола захисту, а трансформатори TV2 та TV3 з обмотками 220 В живлять кола освітлення.

В систему внутрішнього електропостачання кар’єра входять також щоглові трансформаторні підстанції (МТП) з силовим трансформатором до 35 кВ та потужністю до 400 кВА, встановленим на опорах ЛЕП. Схеми їх аналогічні розглянутим пересувним підстанціям.

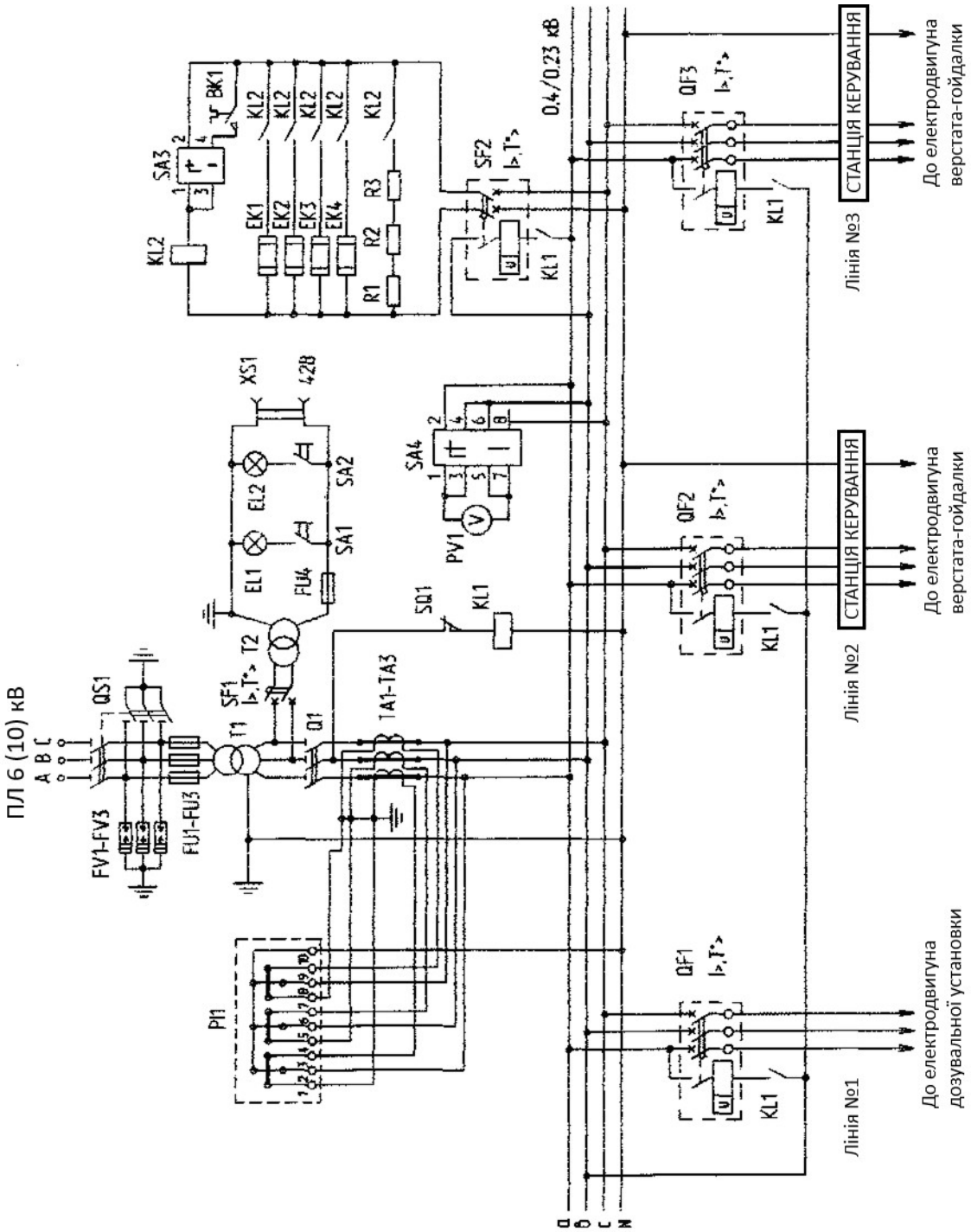



Рис. 14.14. Електрична схема пересувної комплектної підстанції ПСКТП

В нафтогазовому виробництві для живлення верстатів-гойдалок малодебітних свердловин (з потужністю двигунів 7,5 та 15 кВт) використовують комплектні трансформаторні підстанції КТПСК з потужністю масляного трансформатора 25 кВА з напругою 6(10)/0,4 кВ. Для захисту підстанції на її вході встановлюються плавкі запобіжники. Схема підстанції передбачає облік

активної енергії, обігрів підстанції, можливість підключення ручного електроінструменту на напругу 42 В. Підстанція КТПСК-25/10/0,4-1 передбачає живлення одного двигуна верстата-гойдалки потужністю 15 кВт, а КТПСК-25/10/0,4-2 – двох двигунів потужністю по 7,5 кВт.

Для живлення високопродуктивних занурених відцентрових насосів свердловин використовують трансформаторні підстанції КТППН з потужністю триобмоткових трансформаторів ТМТП від 63 до 400 кВА з напругами 6,3/Uроб/0,4 кВ, з вмонтованими станціями керування. Робоча напруга нестандартна і має ступінчасте регулювання (для КТППН-100 в межах 1602-846 В, для КТППН-250 – 2406-1652 В).

## 14.4. Підстанції на промислових майданчиках

Для ГПП шахт та рудників передбачається відкрите виконання розподільчих установок (ВРУ) напругою 35…220 кВ з зовнішнім розташуванням силових трансформаторів та закриті розподільчі установки (ЗРУ) напругою 6; 10 кВ.

Для формування РУ-6;10 кВ використовують комплектні розподільчі пристрої (КРП); для відповідальних установок рекомендують КРП з викатними вимикачами, а для простих схем комутації та для тимчасових установок – більш прості стаціонарні КРП.

Схеми первинних з’єднань ГПП на стороні напруги 35-220 кВ рекомендують без вимикачів на стороні 35-110 кВ, якщо відсутні для цього вимоги автоматизації та захисту. Тому найбільшого поширення набули спрощені схеми ВРУ напругою 35-220 кВ, виконані по блоковому принципу, без збірних шин. На ГПП з трансформаторами потужністю 6300 кВА і вище з метою економії на встановленні високовольтних вимикачів використовувалися схеми ВРУ з короткозамикачами та відокремлювачами (рис 14.15). Кожен з трансформаторів живиться окремою радіальною або магістральною лінією напругою 35-220 кВ.

Замість високовольтного вимикача перед трансформатором встановлений відокремлювач ВД – швидкодіючий роз'єднувач. Відокремлювач призначений для вимкнення пошкодженого трансформатора, але відокремлювач може розірвати електричне коло тільки якщо в ньому відсутній струм, інакше відбудеться пошкодження відокремлювача. Якщо необхідно вимкнути подачу напруги на первинну обмотку трансформатора, то спочатку спрацьовує короткозамикач КЗ, який створює штучне коротке замикання. Внаслідок цього в лінії зовнішнього електропостачання зростає сила струму і високовольтний вимикач на початку лінії (не показаний на рис. 14.15) вимикається під дією максимального струмового захисту. Після того, як припинилося протікання струму через короткозамикач, спрацьовує відокремлювач та від'єднує трансформатор. В подальшому високовольтний вимикач на початку лінії вмикається за допомогою автоматичного повторного ввімкнення та поновлює живлення решти споживачів, які знаходяться на тій самій лінії. Недоліком схеми з короткозамикачами та відокремлювачами є створення штучних коротких замикань. З цієї причини в наш час короткозамикачі не використовуються, а якщо потрібно заощадити на встановленні високовольтних вимикачів, то встановлюють тільки відокремлювачі. В цьому випадку для вимкнення вимикача на початку лінії використовується передача команди по лінії телемеханіки.

Перемичка на стороні 35-220 кВ при нормальному режимі є розімкнутою. Вона дозволяє приєднати обидва трансформатори до однієї лінії та дає можливість зберегти в роботі трансформатор при пошкодженні на його лінії, що співпало з ревізією другого трансформатора, що живиться з іншої лінії.

Якщо необхідно автоматичне встановлення живлення трансформатора після аварійного вимкнення його лінії, в перемичці встановлюють відокремлювачі (рис. 14.16).

ЗРУ напругою 6; 10 кВ – центральний розподільчий пункт проммайданчика шахти, що живить всі основні споживачі поверхні та центральну підземну підстанцію (ЦПП). ЗРУ-6; 10 кВ має збірні шини, розділені на робочі секції. На

стороні 6; 10 кВ передбачається роздільна робота трансформаторів. При проектуванні електропостачання нових шахт або шахт, що підлягають реконструкції, необхідно передбачати відокремлене живлення підземних електроустановок.

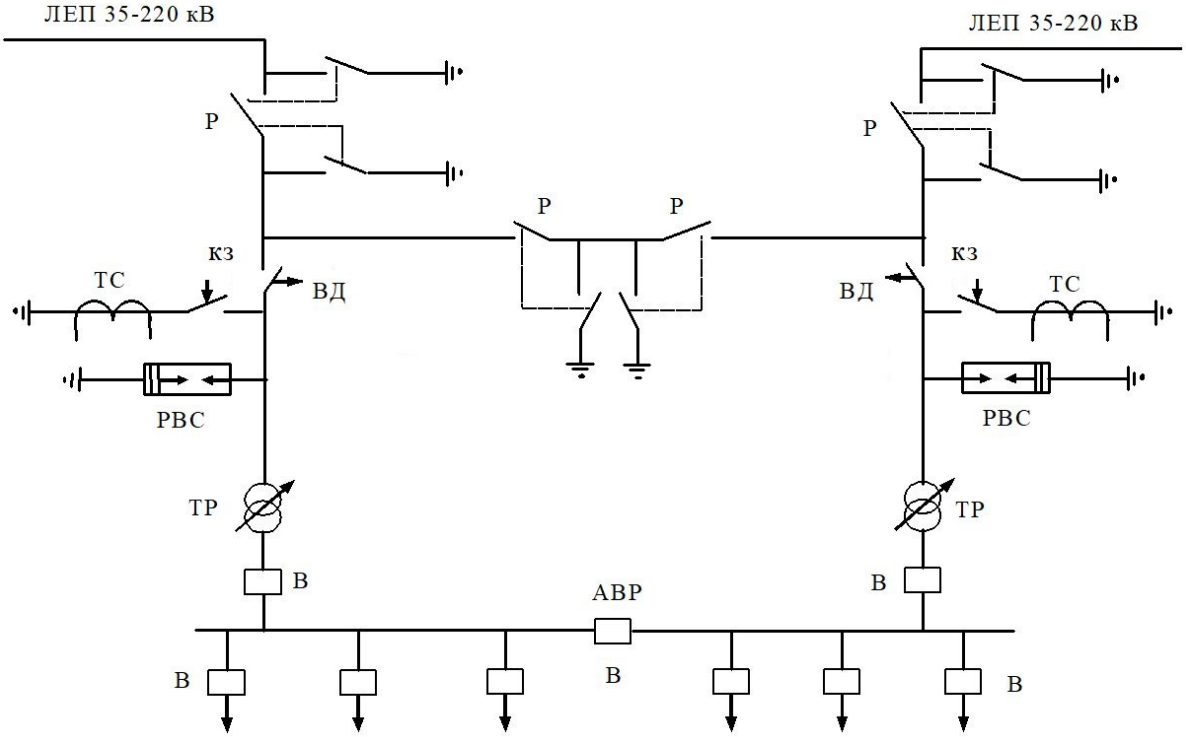



Рис. 14.15. Електрична схема ГПП з короткозамикачами та відокремлювачами

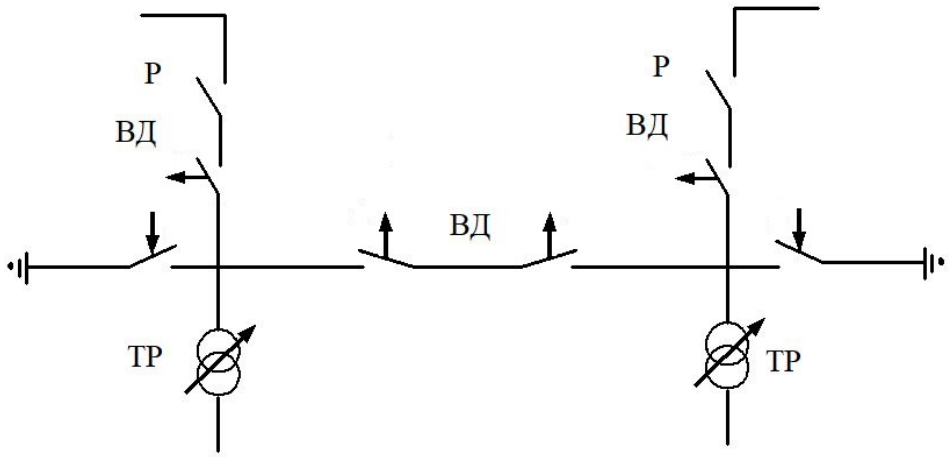



Рис. 14.16. Схема приєднання автоматичної перемички

При будівництві нових шахт, рудників та при реконструкції старих, з метою економії земельного відводу використовують двоярусні (двоповерхові) підстанції, в яких на першому поверсі розташовують ЗРУ-6-10 кВ, статичні конденсатори, трансформатор власних потреб, панелі захисту та автоматики, службові приміщення, а на другому ярусі – ВРУ-35…220 кВ. Трансформатори встановлюють поряд на спеціальному майданчику.

В якості підстанції глибокого вводу 35…110/6 кВ використовують комплектні трансформаторні підстанції КТП-35, КТП-110 та комплектні трансформаторні підстанції блочного типу КТПБ (110/6(10) та 110/35/6(10) кВ).

Комплектні трансформаторні підстанції внутрішньої установки КТП 6-10/0.4-0.23 кВ призначені для електропостачання споживачів поверхні. В КТП внутрішньої установкою використовують спеціальні трансформатори з метою безпеки експлуатації. КТП виготовляють з одним або двома трансформаторами.

Коли вбудовування чи прибудовування підстанції заборонені, приймають комплектні трансформаторні підстанції зовнішньої установки КТПЗ 6-10/0.4-0.23 кВ.

Правильний вибір місцезнаходження ГПП (БПП, ТП) є одним з основних елементів побудови системи електропостачання. Визначення місцезнаходження підстанції на генеральному плані проводиться шляхом побудови картограми навантажень з нанесенням електричного центру.

При виборі місцезнаходження ГПП повинна бути забезпечена можливість зручного підведення вхідних та вихідних ЛЕП всіх напруг; на самому майданчику і в зоні підведення вхідних ЛЕП не повинно бути будівель і комунікацій; майданчик ГПП повинен знаходитися в зоні загальношахтного охоронного цілика та поблизу під’їзних шляхів підприємства. Зона та місце розташування ЗРУ ГПП і траса ліній повинні вибиратися з урахуванням рози вітрів, характеру і концентрації пилу, розміщення дифузорів головних вентиляторних установок, відстані до вакуумної насосної станції дегазації та ін. Не менша увага повинна

приділятися питанню зручної і економічної кабельної каналізації електроенергії, враховуючи, що вентиляційний канал або перехідний підземний тунель для робітників являють собою перепону для кабелів, що важко долається.

## Контрольні запитання

*1. Що таке трансформаторні підстанції геотехнічних виробництв?Яке їх призначення, види та типи приєднання до мережі?*

*2. Яку будову має трансформаторна підстанція ЦПП та РПП. Які типові проекти та схеми розташування використовуються на виробництві.*

*3. Опишіть пересувні дільничі підземні підстанції (ПДПП).*

*4. Які особливості будови та використання трансформаторних підстанцій на кар'єрах?*

*5. Які схеми трансформаторних підстанцій використовуються на промислових майданчиках?*

# ЛЕКЦІЯ 15. Електричні мережі геотехнічних підприємств

15.1. Загальні положення.

15.2. Броньовані кабелі.

15.3. Кабелі підвищеної гнучкості.

15.4. Гнучкі силові кабелі.

15.5. Прокладка кабелів.

15.6. Електричні мережі проммайданчиків.

15.7. Повітряні лінії електропередач на кар'єрах.

## 15.1. Загальні положення

Умови експлуатації електричних мереж на геотехнічних підприємствах, як із підземною розробкою корисних копалин, так і з відкритою, вимагають використовувати для розподілу електроенергії, переважно кабельні мережі, а в підземних виробках – тільки кабельні мережі.

Умови експлуатації кабелів на геотехнічних підприємствах, велика протяжність кабельних мереж (довжина кабельних мереж у підземних виробках та на поверхні перевищує 30-40 км, а загальна довжина кабельних мереж на окремих шахтах перевищує 80-100 км) призводять до того, що кабельна мережа є найбільш вразливим елементом СЕП. Тому до конструкції кабельної продукції, що використовується на гірничих підприємствах висуваються особливі вимоги. Кабелі класифікують:

- за напругою – до та більше 1000 В;
- за конструкцією – броньовані, гнучкі та особливо гнучкі;
- за призначенням – силові, контрольні та кабелі зв'язку.

При стаціонарному прокладанні мереж використовуються виключно броньовані кабелі, а для живлення пересувних механізмів гнучкі кабелі. Строк служби гнучких кабелів при цьому не перевищує одного року.

Для передачі та розподілу електроенергії в підземних виробках, у відповідності з ПБ, повинні використовуватися кабелі з оболонками, або захисними покровами, що не поширюють горіння та призначені для шахтних умов.

Для стаціонарного прокладання по горизонтальних та похилих, капітальних і основних виробках шахт та рудників з ухилом до 45˚ використовують броньовані кабелі зі стрічковою бронею з паперовою нормально просоченою ізоляцією.

Для прокладання в вертикальних виробках та похилих виробках із кутом більше 45˚, також прокладання в свердловинах використовують броньовані кабелі з дротяною бронею з гумовою, поліхлорвініловою або паперовою ізоляцією збіднено просоченою або просоченою не стікаючою рідиною.

Кабелі для прокладання в цих виробках повинні бути високонадійними та безпечними в експлуатації, особливо кабелі, прокладені в стовбурах. Падіння крапель води, падаючі шматки вугілля та породи в стовбурі, вібрація, що має місце в результаті руху скіпа чи кліті, роз'їдають та руйнують кабелі. Неправильне кріплення кабелю в стовбурі призводить до його перевантаження за рахунок власної ваги, що досягає великого значення при значних глибинах стовбура. Особливо слід зазначити стікання ізоляційної просочуючої рідини, що веде до погіршення стану ізоляції кабелю, підвищення внутрішнього тиску в нижній його частині, що може призвести до тріщин в оболонці. Тому стовбурні кабелі повинні мати міцну броню, не повинні допускати стікання просочуючої маси, бути вібростійкими та стійкими проти сирості, роз'їдання та окислення.

На вугільних шахтах небезпечних за газом та пилом виключно використовують кабелі з мідними жилами. На рудниках рекомендовано використовувати кабелі з алюмінієвими жилами, як і на поверхні на промислових майданчиках всіх шахт і рудників, за виключенням кабелів, що входять в приміщення, де можлива поява вибухонебезпечного середовища.

Для приєднання до мережі пересувних дільничних підстанцій, для приєднання до підстанцій розподільчих пунктів напругою до 1140 В використовують броньовані кабелі підвищеної гнучкості та міцності. Дозволяється для цього використовувати також броньовані кабелі, а в якості магістральних кабелів напругою до 1140 В – гнучкі кабелі.

В шахтах небезпечних за газом та пилом, для живлення пересувних машин використовують гнучкі екрановані кабелі. Вони також використовуються для живлення електроспоживачів у тупикових вибоях, тобто вибоях, що провітрюються вентилятором місцевого провітрювання.

Для живлення добувних машин при крутому падінні родовища, де використовуються кабелепідбірники, використовують гнучкі екрановані кабелі спеціальної конструкції з підвищеною міцністю, а для живлення ручного інструменту, колонкових та ручних електросвердел, самохідних вагонів – особливо гнучкі кабелі.

Для мереж освітлення вибоїв шахт безпечних за газом та пилом ПБ дозволяють при напрузі до 24 В використання голих провідників на ізольованих опорах. При цьому виводи із трансформатора зі сторони 24 В повинні виконуватись гнучким кабелем, а обмотки освітлювального агрегату розділяються металевим екраном.

Для ліній сигналізації та аварійної зупинки конвеєрів дозволяється використання голих провідників при напрузі до 24 В. При цьому в шахтах, небезпечних за газом та пилом, ці кола повинні бути іскробезпечними.

## 15.2. Броньовані кабелі

Основними елементами силового кабелю є: струмопровідні жили, ізоляція, герметичні оболонки, захисне покриття (рис. 15.1).

Струмовпровідні жили виготовляються, як правило, з металу великої провідності – міді, алюмінію або їх сплавів.

Жили кабелю можуть мати круглий або секторний переріз, виконуватись однодротовими (із перерізом 6-50 мм$^2$) або багатодротовими для покращення гнучкості кабелю. Секторний переріз жили дозволяє більш щільно їх розмістити та зменшити діаметр кабелю.

Стандартними перерізами жил силових кабелів є: 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800 мм$^2$.

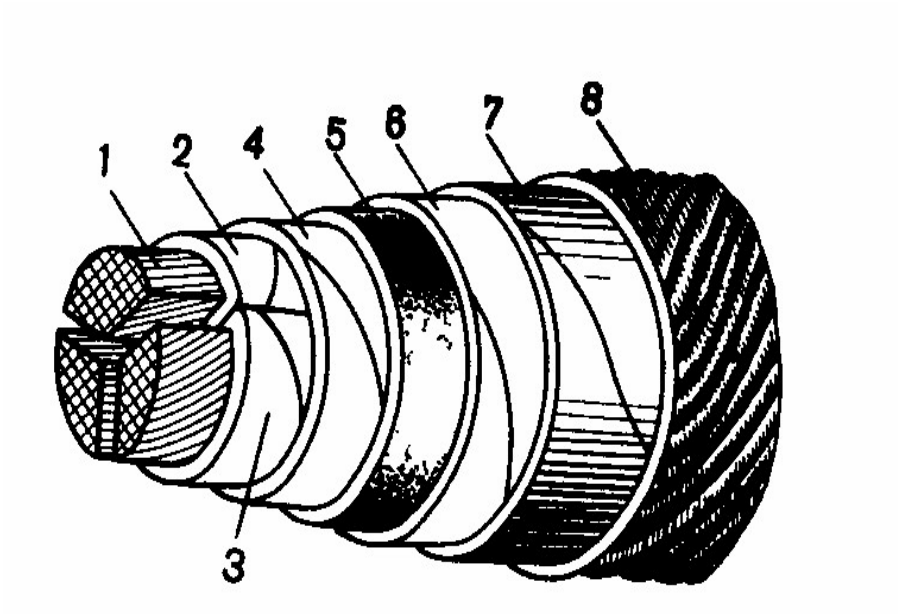



Рис. 15.1. Конструкція кабелю АСБ: 1 – силова алюмінієва жила; 2,3 – паперова просочена ізоляція; 4 – поясна ізоляція; 5 – свинцева герметична оболонка; 6 – подушка; 7 – броня зі сталевих стрічок; 8 – верхнє захисне покриття

Найбільш поширені броньовані кабелі три-, чотири- та одножильні (тягові мережі), в підземних виробках – гнучкі кабелі чотири-, шести-, семи- та восьмижильні.

Позначення матеріалу жил кабелю входить до складу маркування кабелю: для кабелів з алюмінієвими жилами використовують літеру А, в марках кабелів з мідними жилами відсутнє позначення матеріалу.

Кожна жила покривається ізоляцією. Ізоляційний шар виконується з якісних діелектриків: не просоченого або просоченого паперу, гуми, пластмаси, волокнистих матеріалів (скловолокно, шовкові пряжі, синтетичні волокна),

лакових або емалевих плівок. Товщина ізоляційного шару залежить від робочої напруги кабелю.

В залежності від виду ізоляції, використаної у кабелі, в їх маркуванні використовуються наступні позначення: Р – гума; В – полівінілхлоридний пластикат; П – поліетиленова ізоляція; відсутність позначення – паперова просочена ізоляція.

Ізольовані жили кабелю для підвищення механічної міцності звиваються у звивку кабелю. Поверх звивки часто накладають поясну ізоляцію з того ж ізоляційного матеріалу, що й основна ізоляція.

Для захисту ізоляції кабелю від зовнішнього середовища (вологи, пилу і т.д.) і від легких механічних пошкоджень використовують герметичну оболонку. Якщо ізоляція виконана з гігроскопічного матеріалу (просоченого паперу) герметична оболонка виконується з алюмінію або свинцю. В кабелях з гумовою або пластмасовою ізоляцією герметична оболонка виконується з гумового або шлангу з полівінілхлоридного пластикату.

Позначення оболонки в маркуваннях кабелів: С – свинцева оболонка; А – алюмінієва оболонка; В – оболонка з полівінілхлоридного пластикату.

Якщо кожна жила має свою герметичну оболонку, то в маркуванні кабелю використовують: ОС – для свинцевої та ОА – для алюмінієвої оболонок.

Для захисту герметичної оболонки від механічних пошкоджень та корозії (при використанні алюмінієвої або свинцевої оболонок) використовуються захисні покриття, які в броньованому кабелі часто складаються з трьох елементів: подушки, броні, верхнього захисного покриття.

Подушка звичайно являє собою кілька шарів бітуму та просочених антисептиком паперових стрічок або шару кабельної пряжі. В сучасних кабелях в якості подушки широко використовують стрічки з поліхлорвінілового пластикату та поліетилену. Подушка призначена для запобігання можливому пошкодженню свинцевої, алюмінієвої або пластмасової оболонки сталевими стрічками чи дротами броні в процесі їх накладення та захисту свинцевої або алюмінієвої

оболонки від корозії. Тип подушки в маркуванні кабелю позначається: л, 2л – один або два шари лавсанової стрічки; п – поліетиленова стрічка; б – без подушки.

Броня кабелю виконується сталевими стрічками, покритими тонким шаром бітуму або сталевими оцинкованими дротами, що вказується в маркуванні кабелю: Б – сталева стрічка; К – круглі та П – пласкі дроти.

Призначення верхнього захисного покриття – захищати броню від корозії у випадках, коли кабель прокладається в землі або під водою. Характер верхнього захисного покриття вказується в маркуванні кабелю: Н – покрив із негорючого складу, пряжі з штапельованого скловолокна, бітуму та покриття, яке захищає від злипання витки кабелю; Шв – з бітумного складу чи бітуму, стрічки ПВХ та випресованого шлангу з ПВХ; Г – захисний покрив відсутній; без позначки – із бітумного складу, просоченої кабельної пряжі або штапельованого скловолокна, та покриття від злипання витків кабелю.

В гірничих виробках вугільних шахт використання кабелів з алюмінієвими жилами та з алюмінієвими оболонками є забороненими. Для стаціонарного прокладання в підземних виробках (горизонтальних та похилих з ухилом до 45°) використовують кабелі марок: СБ, СБн, СБГ, СБШв, СБ2лШв, СКл, СПлн, СПШв, СБ-В, СБн-В, СБлн-В, (В – зі збіднено просоченою ізоляцією) та ін.

Для вертикального прокладання в стовбурах використовують кабелі з паперовою ізоляцією просоченою нестікаючою рідиною на основі церезину. Найбільше цим умовам відповідають кабелі: ЦСКн, ЦСКл, ЦСПн та ін.

При прокладанні в стовбурах глибиною до 200 м, а також в свердловинах доцільно використовувати кабелі: СКл, СПлн-В, СПШв, а для прокладання у свердловинах та кріпленні на сталевих тросах – ЦСБ, ЦСБн, ЦСБл, ЦСПн, ЦСПШв та ін.

Для прокладання на поверхні шахт та рудників, промислових майданчиках кар’єрів та підприємств підземного будівництва використовують кабелі з алюмінієвими жилами та алюмінієвими герметичними оболонками (крім входу в

приміщення, де можлива поява вибухонебезпечного середовища). При прокладанні в повітрі, в виробках, в тунелях, каналах, у приміщеннях з сухим середовищем та відсутності небезпеки механічного пошкодження використовують кабелі: ААГ, ААШв, АВВГ, АВРГ; а при небезпеці механічного пошкодження – ААБлГ, АВВБГ, АВРБГ, АВБбШв, АПвВБГ.

В сирих приміщеннях слід використовувати кабелі типів: ААШв, АСШв, ААБвГ, ААБлГ, ААБглШв, АСБ2лШв та ін.

При прокладанні кабелів на естакадах та кабельних мостах слід використовувати кабелі: ААШв, ААБлГ, ААБ2лШв, АСБлГ, АВВБГ та ін. Для прокладання в землі в траншеях використовують кабелі: ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2л, ААПл, АСПл, АСБ, АСБ2л та ін. Крім вищезазначених, у всіх випадках доцільно також використовувати кабелі з підсиленою ізоляцією, що допускають більш високий нагрів і дозволяють знизити на один-два ступені переріз кабелю. (наприклад, кабелі ААШвУ, ААБлУ, СБнУ, СБлУ та ін).

## 15.3. Кабелі підвищеної гнучкості

Броньовані кабелі мають надмірну жорсткість, в них відсутня заземлююча жила та допоміжні жили, що є суттєвим недоліком при експлуатації. Тому для живлення електроенергією пересувних підземних підстанцій напругою 6 кВ та для приєднання розподільчих пунктів напругою 660 В та 1140 В до пересувних підстанцій доцільно використовувати кабелі підвищеної гнучкості: типу ЕВТ (екрановані, з ізоляцією з полівінілхлориду, для тяжких умов роботи). Конструктивно виконуються ці кабелі чотири- та восьмижильними з перерізом силових жил від 16 до 35 мм$^2$ для напруги 6кВ; з перерізом від 16 до 95 мм$^2$ на напругу 660В; чотирижильними з перерізом 16-120 мм$^2$ та восьмижильними з перерізом від 35 до 120 мм$^2$ на напругу 1140 В.

Ізольовані силові жили (рис. 15.2), які виконуються з багатьох окремих дротів, та допоміжні жили звиті разом і розташовані навколо заземлюючої жили,

що знаходиться в центрі. Основні жили мають індивідуальні екрани з напівпроводячого пластикату та мідної фольги, а допоміжні жили звиваються разом в окрему звивку і поверх них накладена оболонка із ПВХ. Зверху звитих основних, допоміжних та заземлюючої жил накладається загальний екран із двох мідних стрічок. Зверху загального екрану знаходиться поясна ізоляція із впресованого полівінілхлоридного пластикату або стрічок, потім захисний покрив із броні (стальні канатики). Після броні накладається стрічка пакувального ПВХ і, нарешті, шланг із полівінілхлоридного пластикату. Така конструкція забезпечує крім високої механічної міцності достатню гнучкість, та можливість контролю опору ізоляції.

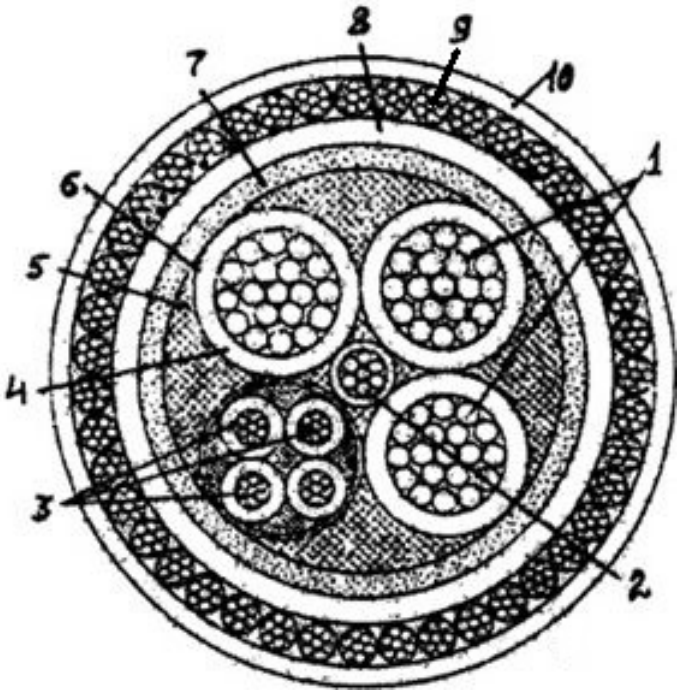



Рис. 15.2. Конструкція кабелю ЕВТ: 1 – силова жила; 2 – заземлююча жила; 3 – допоміжні жили звиті та розміщені в загальному екрані; 4 – ізоляція жил; 5 – оболонка з ПВХ 6 – індивідуальний екран силових жил; 7 – поясна ізоляція із ПВХ; 8 – загальний екран; 9 – броня зі сталевих канатиків; 10 – шлангова оболонка (зовнішнє покриття)

## 15.4. Гнучкі силові кабелі

Тяжкі умови експлуатації гнучких кабелів у підземних виробках призводять до того, що фактичний строк служби кабелю часто не перевищує одного року. Тому до цих кабелів висувається цілий ряд вимог:

- висока розривна міцність та опір стиранню гумової шлангової оболонки – 150÷200 Н·см$^2$. Це в основному гума на основі найриту, мастилостійка та негорюча;

- висока еластичність гуми;

- велика гнучкість конструкції кабелю (400-500%);

- висока електрична міцність гуми – 20÷30 кВ/мм;

- наявність заземлюючих та допоміжних жил;

- наявність екранів навколо кожної жили (з напівпроводячих гуми чи пластикату);

- шлангове покриття повинно бути негорючим;

- повинна забезпечуватись неперервність екранів по всій довжині кабелю;

- величини наведеної електрорушійної сили в екранах, допоміжних жилах, заземлюючі жилі не повинні значним чином впливати на іскробезпеку та надійність керування;

- для зменшення ваги та зовнішнього діаметра кабелю допускають розщеплення основних жил кабелю.

Найбільш поширені кабелі, що використовуються в гірничій промисловості і відповідають цим вимогам є кабелі типу КГЕШ – гнучкі екрановані шахтні. Продовжують також випуск кабелів типу ГРШЕ, які широко використовувались раніше; за конструкцією ці кабелі подібні.

Кабелі випускаються на напругу до 1140 В чотири- та семижильними з перерізом основної жили від 4 до 95мм$^2$. В чотирижильному кабелі три основні жили та заземлююча жила розташовані у вершинах чотирикутника. В семижильному кабелі три допоміжні жили зібрані в окрему звивку і мають

загальний екран, три основні жили та група допоміжних жил розташовані в вершинах чотирикутника, а заземлюючи жила – в центрі кабелю (рис. 15.3).

Жили скручуються з тонких мідних дротів. Заземлююча жила не ізольована, її переріз на ступінь нижчий за перерізу основної жили в кабелях з перерізом силової жили до 10 мм$^2$, а починаючи з кабелю перерізом 16 мм$^2$ і вище переріз заземлюючої жили становить 10 мм$^2$, допоміжні жили мають переріз 2,5 мм$^2$. Основні та допоміжні жили мають гумову ізоляцію з допустимою температурою нагріву 75 ºС (кабелі з підвищеною теплостійкістю КГЕШУ мають ізоляцію з допустимою температурою нагріву 90 ºС). Зовні ізоляції жил накладається екран із напівпроводячої гуми. Оболонка кабелю виконана з міцної гуми, що не поширює горіння.

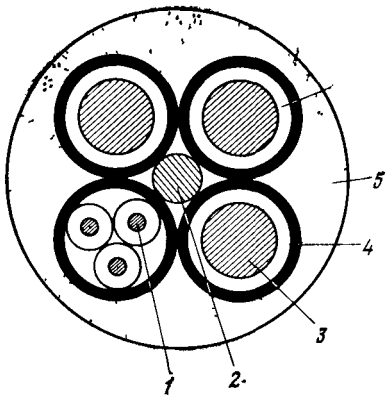



Рис. 15.3. Гнучкий екранований кабель КГЕШ: 1 – допоміжна жила; 2 – заземлююча жила; 3 – основна жила; 4 – екран з електропровідної гуми; 5 – шлангова оболонка; 6 – гумова ізоляція жил

Для збільшення рухомості жил однієї відносно іншої, захисту шлангу від стирання, всередині екрани й оболонка покриті лускоподібним графітом. Кабель КГЕПШ на відміну від кабелю КГЕШ не має індивідуальних екранів. Вони замінені поясним екраном та профільованим осердям із електропровідної гуми. Заземлююча жила скручена в групу з допоміжними. Кабель за рахунок осереддя більш стійкий до чавлячих навантажень.

Для живлення добувних машин в умовах крутого падіння випускається екранований кабель підвищеної механічної міцності. Для живлення вугільних

комбайнів при крутому падінні родовища, коли використовуються кабелепідбірники, наявні значні провисання кабелю, промисловість випускає кабелі підвищеної механічної міцності (рис. 15.4) типу КГЕШП (раніше кабелі ГРШЕП).

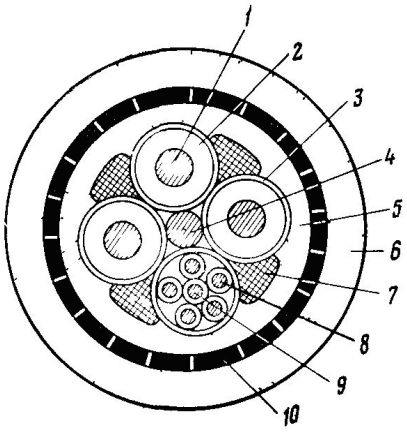



Рис. 15.4. Гнучкий екранований кабель підвищеної механічної міцності КГЕШП: 1 – силова жила; 2 – ізоляція силової жили; 3 – екран; 4 – заземлююча жила; 5 – внутрішня шлангова оболонка; 6 – зовнішня оболонка; 7 – зміцнююче пасмо з лавсану; 8 – допоміжна жила; 9 –осердя з лавсану; 10 – розподільчий шар лавсану

Порівняно з кабелем КГЕШ, кабель КГЕШП має 5 допоміжних жил, що звиті в окрему звивку. Для надання звивці більшої гнучкості, в її середині розміщене осердя з лавсану. Крім цього, для підвищення міцності, в проміжках між силовими жилами закладено заповнення з лавсанової пряжі. Внутрішня та зовнішня гумові оболонки розділені шаром лавсану. Ці кабелі виконуються на напругу 660, 1140 В, перерізом від 10 до 70 мм$^2$.

Для живлення ручних та колонкових електросвердел випускаються кабелі особливо гнучкі це КОГЕШ з гумовою ізоляцією, або з полівінілхлоридною ізоляцією КОГВЕШ (рис. 15.5). Випускаються п’ятижильними з перерізами жил від 1,5 до 6 мм$^2$. Усі п’ять жил мають однаковий переріз. Підвищена гнучкість досягається за рахунок зменшення кроку звивки кабелю. Силові та додаткова жили ізольовані, заземлюючі – без ізоляції. Основні та додаткова жили мають зовні ізоляції екран з електропровідної гуми чи графітополімерний (КОГВЕШ). Серцевина кабелю виконана з гуми або полівінілхлоридного пластика на базі

синтетичної пряжі. Кабель з гумовою ізоляцією призначений для використання на напругу до 220 В, з полівінілхлоридною – до 660В.

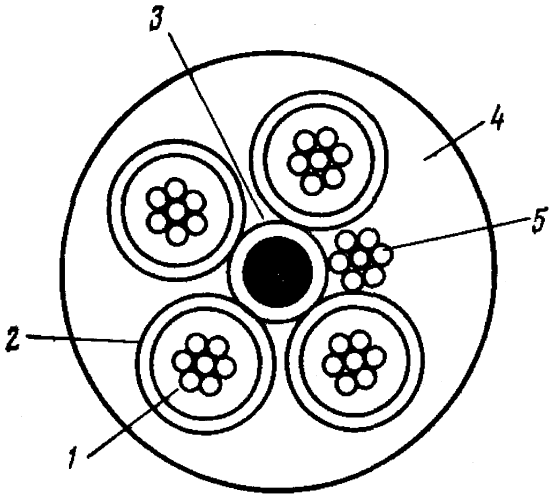



Рис. 15.5. Особливогнучкий екранований кабель КОГЕШ: 1 – силова жила; 2 – ізоляція жили з зовнішнім екраном; 3 – серцевина з гуми; 4 – оболонка кабелю; 5 – заземлююча жила

Для живлення самохідних вагонів випускається кабель ГРЕ, з трьома основними, заземлюючою та одною допоміжною жилами.

Для систем з випереджувальним відключенням розроблено і випускається спеціальний кабель КГВЕУШ (ГВШОП). Кабель (рис. 15.6) виготовляється із шести основними (перерізом від 6 до 50 мм$^2$), п’ятьма допоміжними та одною заземлюючою жилою і має оболонку зі зміцнюючими елементами на основі сталевих канатиків або металокорду. Основні та допоміжні жили мають графітополімерні екрани. При додаванні в графітову масу рідини, що не висихає (гліцерину), екрани одержують властивість адгезії (прилипання) провідного шару до поверхні предметів, що пошкодили кабель. Це покращує контакт між зовнішнім та внутрішніми екранами при пошкодженні кабелю. Допоміжні жили, розташовані в центрі шлангової оболонки та захищені основними жилами. Тому в результаті механічного пошкодження спочатку з’єднуються основні жили з заземленими екранами, забезпечуючи подачу імпульсу на вимкнення вимикача АБВ, і лише при подальшому руйнуванні кабелю пошкоджуються допоміжні

жили. Підвищення механічної міцності досягається шляхом зміцнення кабелю лавсановим осередям, розташованим в центрі, та зміцнюючою ізольованою стренгою.

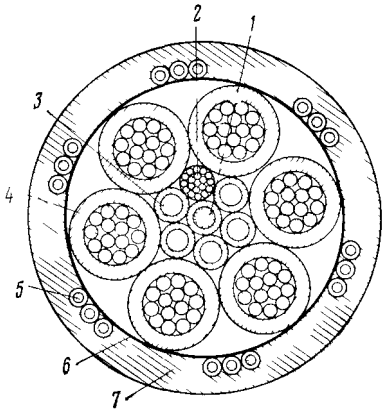



Рис. 15.6. Кабель, гнучкий, екранований підвищеної міцності типу КГВЕУШ:
1 – серцевина з лавсану; 2 – заземлююча жила; 3 – допоміжна жила; 4 – основна жила;
5 – зміцнюючі елементи; 6 – підсилююча стренга; 7 – оболонка шлангова

Для приєднання пересувних механізмів до електричних мереж змінного струму напругою до 660 В та частотою до 400 Гц або мереж постійного струму напругою до 1000 В випускаються кабелі КГ з гумовою ізоляцією з одною, двома, трьома та чотирма або п’ятьма силовими жилами. Різновидами цього кабелю є кабелі КГ-ХЛ, КГ-Т, КГН відповідно з використанням гуми для холодного, тропічного кліматів та такої, що не поширює горіння. Для цих же умов випускається трижильні кабелі КПГС, КПГСН підвищеної гнучкості з профільованим осердям (з одною заземлюючою та одною або двома допоміжними жилами).

Для кіл контролю та керування використовують контрольні шахтні кабелі з мідними жилами з ізоляцією та оболонкою з полівінілхлоридного пластикату (кабель КГШ). Переріз кожної жили кабелю складає 1,5 мм$^2$. Ізольовані жили в кабелях з кількістю жил 6, 8, 10, 12 звиті єдиною навивкою навколо зміцнюючого осереддя, жили в кабелях з кількістю жил 15, 18, 24, 30, 36 звиті в групи, а групи навколо зміцнюючого осереддя – в кабель.

Для підземних виробок шахт випускаються кабелі для передачі інформації КТАПВ та КТАПВТ з мідними жилами, поліетиленовою ізоляцією в оболонці з полівінілхлоридного пластикату.

Для приєднання екскаваторів і інших пересувних механізмів до електричних мереж напругою 6 кВ з ізольованою нейтраллю використовують кабелі ГТШ, КШВГ, КГЕ та ін.

На кар'єрах в умовах легкої експлуатації для живлення екскаваторів використовують гнучкі кабелі ГТШ. Кабель виконується трижильним з перерізом жил 6-70 мм$^2$. Жили звиваються навколо профільованого гумового осердя. Зовні звитих жил накладається подвійний захисний шланг: внутрішній – з ізоляційної гуми, зовнішній – з високоміцної гуми. Між шлангами розташоване сплетіння з мідних дротів, що використовується в якості заземлюючої жили.

В тяжких умовах експлуатації при чистому згинанні кабелю та значному механічному впливі для живлення екскаваторів значного поширення набули кабелі КШВГ (кабель шланговий високовольтний гнучкий). Кабель (рис. 15.7) складається з трьох звитих між собою окремо екранованих та ізольованих струмопровідних жил і одної заземлюючої жили. Кожна жила ізолюється гумою, при цьому на струмоведучі жили накладається шар напівпровідної гуми та екрануюче сплетіння з лужених дротиків. Кабель має кілька видів виконання: КШВГД (дражний), КШВГМ (холодостійкий), КШВГС (зі сталевим осердям), КШВГДМ, КШВГСМ, КШВГТ (з нагрівостійкою гумовою ізоляцією, двошаровою оболонкою). Для живлення надпотужних роторних екскаваторів на напругу 35 кВ використовують кабель КШФГЕ з трьома основними жилами перерізом 70 мм² та трьома заземлюючими жилами. Гума ізоляції нагрівостійка (до 85ºС), з екранами основних та допоміжних жил та загальним екраном.

Кабель КГЕ (гнучкий з гумовою ізоляцією з гумовою оболонкою) та КГЕТ має три силових (з перерізом від 10 до 150 мм$^2$), одну заземлюючу (має оболонку з електропровідної гуми) та одну допоміжну (з гумовою ізоляцією) жили. Основні жили мають гумову ізоляцію та екрани з електропровідної гуми. Зовні жил

кабелю накладається екран з електропровідної гуми та гумова оболонка. При експлуатації кабелю жила заземлення приєднується до заземлювача, а допоміжна – до апаратури контролю цілісності заземлюючої жили. За допомогою цієї жили також виконують електричне блокування від роз'єднання кабельних з'єднувачів під напругою. Кабель призначається для живлення екскаваторів, відвалоутворювачів та інших пересувних машин напругою 6 кВ.

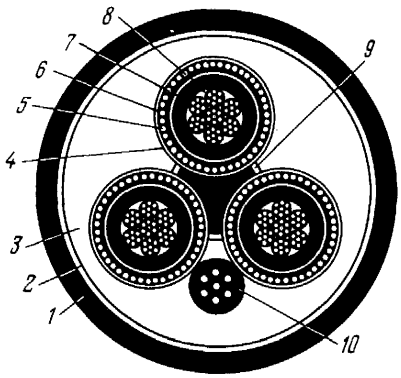



Рис. 15.7. Кабель марки КШВГ: 1 – зовнішня захисна оболонка; 2, 4 – тканинна стрічка; 3 – внутрішня оболонка; 5 – екрануюче сплетіння; 6 – озоностійка оболонка; 7 – ізоляційна оболонка; 8 – мідна жила; 9 – осередя;10 – заземлююча жила

Для живлення бурових верстатів та інших пересувних машин напругою до 1000 В використовують гнучкі кабелі марки КГ (типу КРПТ) на напругу 660 В та інші кабелі загального використання (КРПГ, КРПТН, КРПС, АКРГТТ, АКРПТН, КРПСН).

Для з'єднання відрізків кабелю між собою та приєднання кабелю до електрообладнання та машин передбачаються спеціальні електричні з'єднувачі типу СВК (СПВ)-10/500.

Прокладання кабелів у підземних виробках шахт виконується у відповідності з Правилами безпеки та Правилами технічної експлуатації вугільних шахт. Типи кабелів, що приймаються до прокладання, вибираються в залежності від характеру виробок та їх призначення.

На шахтах, що мають вертикальні стовбури, закріплені вогнестійким кріпленням, рекомендується прокладання кабелів у стовбурах, обладнаних

клітьовими підйомними установками. На високопродуктивних шахтах, коли необхідно прокладати в стовбурі велику кількість кабелів, рекомендується їх прокладання в різних стовбурах. Доцільно прокладати стовбурні кабелі поруч з драбинним відділенням. Кабелі вводять у стовбур (рис. 15.8), як правило, через вікно в шийці стовбура (висота вікна 0.6 м, а ширина по 250 мм на кожний кабель). При цьому на підході до стовбура в кабельному каналі повинен бути запас кабелю в 10-15 м. Зі стовбура в ЦПП кабелі вводяться переважно по трубно-кабельному ходку (рис. 15.9).

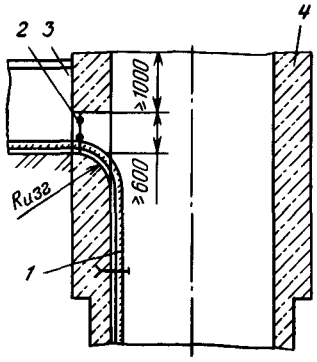



Рис. 15.8. Ввід кабелів в вертикальний стовбур: 1 – кабель; 2 – захисна решітка; 3 – кабельний канал; 4 – шийка стовбура

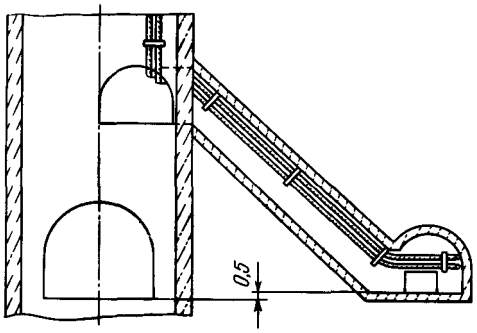



Рис. 15.9. Ввід кабелів в центральну підземну підстанцію через трубо-кабельний ходок

У стовбурі кабель кріпиться через кожні 5-6 м за допомогою спеціальних кронштейнів (рис. 15.10). Кріпляться кабелі в кронштейнах за допомогою сталевих скоб з прокладками з дуба, гуми або брезенту. Часто використовують також безболтові клинові затискачі, які прискорюють монтаж та демонтаж кабелю.

Особливу увагу слід приділяти кріпленню кабелю у свердловинах. В обсадній трубі, що закріплює свердловину прокладається трос чи канат невеликого діаметра, який підтримується лебідкою, а до троса чи каната безпосередньо кріпиться кабель за допомогою дротяних бандажів, що накладається через кожні 2,5 м. Якщо в свердловині прокладається кілька кабелів, то кожний кабель кріпиться до свого троса.

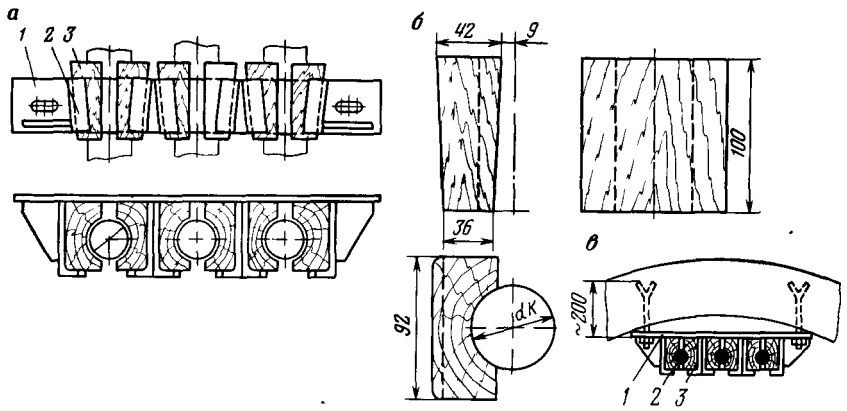



Рис. 15.10. Конструкція кронштейну для закріплення кабелів в вертикальних стовбурах (а), кліца для кабелів (б) та загальний вид кріплення кабелів у стовбурі (в). Цифрами позначено: 1 – підтримувач; 2 – скоба; 3 – кліца

В горизонтальних та похилих виробках кабелі прокладаються переважно у виробках зі свіжим струменем повітря. В шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля та газу, силові кабелі рекомендують прокладати у виробках з нейтральною вентиляцією або зі свіжим струменем повітря. В вентиляційних виробках на вихідному струмені повітря дозволяється прокладання кабелів за умови, що електропостачання підземних виробок забезпечується за схемою з відокремленим живленням, з наявністю захисту від струмів витоку та інших пристроїв передбачених ПБ.

При прокладанні стаціонарних мереж у горизонтальних та похилих виробках кабелі підвішуються відкрито на боковій стороні виробки на такій

висоті, щоб при сходженні вагонеток з рейок або зриві кабелю з конструкції підвіски він не пошкоджувався.

В виробках, закріплених металевим та дерев'яним кріпленням, використовують еластичну підвіску кабелів (рис. 15.11) з провисанням 10-15%, а при залізобетонному кріпленні виробок жорстку підвіску (рис. 15.12). Підвіска кабелю виконується на вільній стороні. Силові та освітлювальні кабелі прокладаються з одного боку виробки, контрольні та кабелі зв'язку – з іншого. При неможливості такої підвіски, кабелі прокладаються з одного боку, але з дотриманням відстаней, що вимагають ПБ.

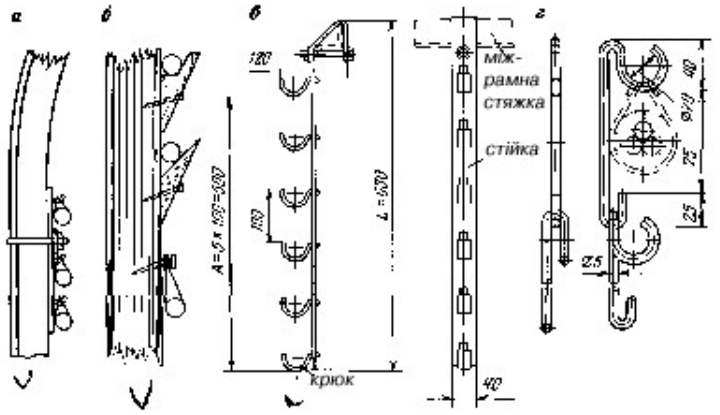



Рис. 15.11. Конструкції кронштейнів для еластичної підвіски кабелів в горизонтальних та похилих виробках: а, б) ляпухи, кілочки з синтетичною або брезентовою стрічкою; в) підвіски з стрічкової сталі; г) роз'ємні підвіски з дроту

Рис. 15.12. Конструкції кронштейнів для жорсткої підвіски кабелів в горизонтальних та похилих виробках: а – штамповані підвіски, б, в – підвіски зі стрічкової сталі

Не дозволяється тримати кабелі під напругою в бухтах або “вісімках” – вони повинні бути розтягнутими та підвішеними.

При роботі добувних комплексів, що мають кабелеукладачі, кабелі укладаються в спеціальному лотку з бічної сторони конвеєра. В пересувних машинах найближча до них частина гнучкого кабелю може бути прокладеною на ґрунті на відстані 30 м.

Гнучкі кабелі, що живлять пересувні машини на відкритих розробках, повинні прокладатися на опорах (козлах, стійках та ін.). Ця вимога не поширюється на випадки, коли передбачається запас гнучкого кабелю під напругою на спеціальному кабельному барабані. Найближча до пересувної машини частина кабелю може бути прокладеною на ґрунті на відстані, достатній для маневрування машини.

Кабельні спуски на горизонти виконуються відкрито в жолобах, по металевих решітках і т. п., захищаючи при цьому кабель від механічних пошкоджень при обвалах, зсувах і ін. Під залізницею, автодорогами в кар’єрі кабелі прокладають у трубах, жолобах, коробах.

## 15.6. Електричні мережі проммайданчиків

Шахтні мережі поділяються на внутрішньомайданчикові, позамайданчикові та підземні.

Позамайданчикові мережі споруджуються на території, розташованій поза проммайданчиками шахт. До них належать мережі зовнішнього електропостачання та мережі від проммайданчиків шахт до майданчиків флангових вентиляторних установок, свердловин, насосних станцій, мережі житлових селищ і т. п.

Позамайданчикові мережі напругою 35 кВ і вище та переважна більшість мереж напругою 6(10) кВ виконуються у вигляді повітряних ЛЕП. Останні

широко використовуються на шахтах, де підземні споживачі живляться через свердловини.

До внутрішньомайданчикових мереж належать електричні мережі на головному проммайданчику шахти, на майданчиках флангових стовбурів, насосних станцій та ін. Розрізняють зовнішні (міжцехові) і внутрішні (цехові) внутрішньомайданчикові мережі.

Зовнішні внутрішньомайданчикові мережі виконуються переважно кабелями у зв’язку з тісною забудовою проммайданчика і висотним розташуванням технологічних естакад, перехідних галерей, підйомних канатів, а також трубопроводів стиснутого повітря. Незалежно від категорії електроустановок силові мережі та освітлювальні на поверхні виконуються кабелями з алюмінієвими жилами та оболонками, кабелі з мідними жилами обов'язкові тільки при прокладці кінцевих ділянок в вибухобезпечних приміщеннях. При значних струмових навантаженнях для міжцехових та цехових мереж рекомендується використовувати шинопроводи. Силові та освітлювальні мережі напругою до 1000 В згідно вимогам ПУЕ повинні бути роздільними.

На сучасних шахтах та рудниках для освітлення майданчиків в центральній частині шахтних дворів, для освітлення відкритих складів, під’їзних шляхів та ін. широко використовують прожектори та світильники великої сили світла, що встановлюються на високих будинках та спорудах.

Освітлювальні мережі в цьому випадку виконують ізольованими проводами, прокладеними по стінах будинків та споруд, що дозволяє не захаращувати проммайданчик ЛЕП освітлення.

Прокладання кабелів по можливості слід проводити відкрито, використовуючи для цього технологічні та спеціальні естакади, стіни будинків та споруд. При цьому необхідно приймати до уваги умови навколишнього середовища, вібрацію стін і приймати заходи захисту кабелів від прямої дії сонячних променів.

В залежності від кількості кабелів, умов траси, ступеню забруднення грунту, вимог експлуатації і т. д. кабелі можуть прокладатися в траншеях, каналах, тунелях і на естакадах, перевага віддається більш простим способам.

При кількості кабелів до шести кабелі прокладаються в траншеях (рис. 15.13, а), від механічного пошкодження вони захищаються червоною цеглою або бетонними плитами. Для захисту від корозії, в траншеях прокладають кабелі з протикорозійним покриттям. При прокладанні кабелів паралельно трубопроводам відстань між ними повинна бути не менше 0,5м, а якщо умови не дозволяють забезпечити таку відстань, кабелі прокладаються в трубах. Відстань до теплотраси при їх паралельному прокладанні повинна бути не менше 2 м. Прокладання кабелів в траншеях проектують з запасом по довжині (“змійкою” або з компенсаційним запасом на вводах, біля муфт і через 50 м траси).

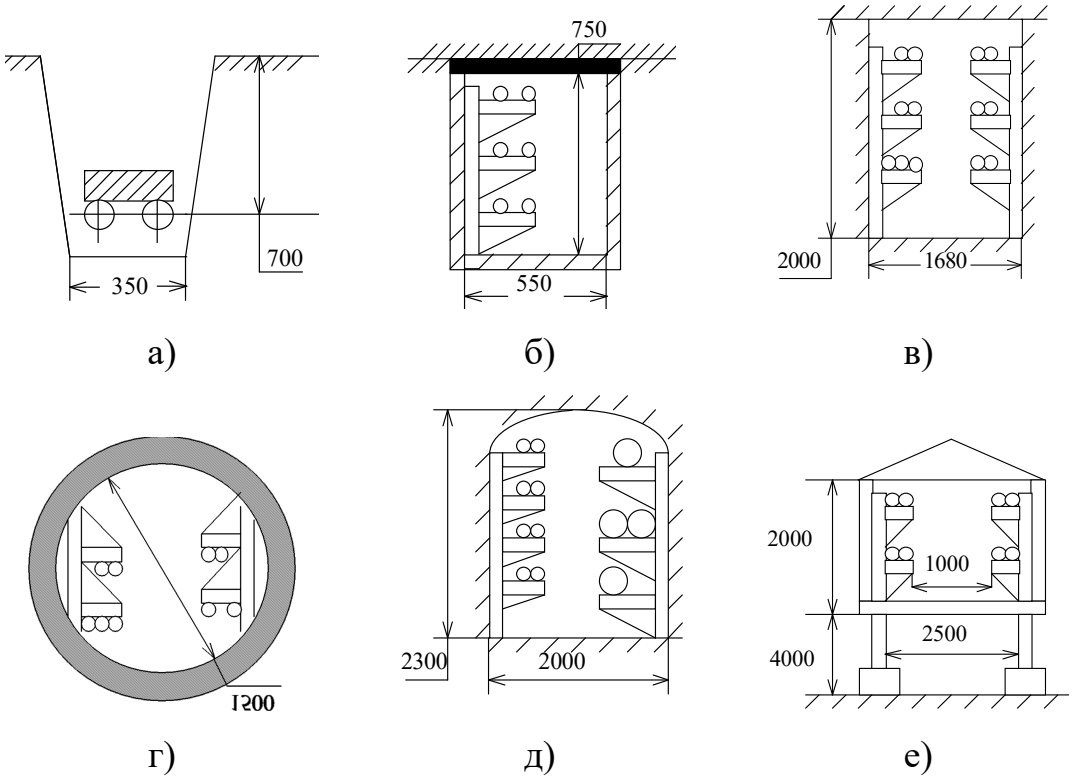



Рис. 15.13. Способи прокладання кабелів: а) в траншеї; б) в кабельному каналі; в) в здвоєному каналі; г) в напівпрохідному тунелі; д) в підземному колекторі; е) на естакаді

При кількості кабелів від 6 до 30 використовують для прокладання кабельні канали (рис. 15.13, б), при більшій кількості кабелів приймають здвоєні канали, тунелі (рис. 15.13, в) або напівпрохідні тунелі (рис. 15.13, г).

Трасу для спорудження каналів і тунелів вибирають за напрямком основного потоку енергії з максимальним обхватом кабелів, що живлять споживачів першої категорії. Слід передбачити сумісне прокладання силових, контрольних і телефонних кабелів. При цьому необхідно різні групи кабелів (робочі, резервні напругою вище 1000 В, для споживачів першої категорії) розміщувати на різних рівнях; в односторонніх тунелях силові та контрольні кабелі і кабелі зв'язку розміщують на різних рівнях, розділяючи їх горизонтальною перегородкою, а в двосторонніх тунелях – по різних сторонах тунелю.

При великій насиченості проммайданчиків підземними комунікаціями буває доцільно споруджувати підземні колектори для кабелів та трубопроводів (рис. 15.13, д).

На потужних шахтах та рудниках, насичених підземними технологічними та іншими комунікаціями, при великій агресивності грунтів рекомендують відкрите прокладання кабелів на естакадах (рис. 15.13, е).

При високій питомій щільності навантаження, концентрованому розташуванню потужних споживачів, при магістральному направленні потужного електропотоку використовують струмопроводи. Діапазон навантажень для струмопроводів знаходиться в межах 1500-6000 А.

Струмопроводи можуть прокладатися на опорах, в тунелях або закритих галереях.

Жорсткі струмопроводи рекомендуються для з’єднання виводів вторинних обмоток трансформаторів підстанцій глибокого вводу з віддаленими ЗРУ 6(10) кВ.

Внутрішні (цехові) мережі виконуються кабелями, голими та ізольованими проводами, а також шинами.

Марки проводів, спосіб захисту від зовнішньої дії, спосіб прокладання визначається прийнятою системою розподілу електроенергії, а також умовами навколишнього середовища.

Прокладання кабелів і шин в приміщеннях підйомних установок і компресорних станцій виконується по стінах і під стелею підвальних приміщень або в кабельних каналах.

## 15.7. Повітряні лінії електропередач на кар'єрах

На кар'єрах широкого поширення для розподілу електроенергії набули повітряні лінії електропередач, що вирізняються простотою виконання та експлуатації, а також економічністю по відношенню до кабельних ліній. При цьому використовують два типи повітряних ліній: постійні та тимчасові.

До постійних відносять стаціонарні повітряні ЛЕП усіх напруг, які мають строк служби більше п'яти років і прокладаються у більшості випадків на поверхні кар'єра поза зоною вибухових робіт. Вони можуть також розташовуватись і безпосередньо в кар'єрі (на непрацюючих уступах) і на відвалах. Конструкція стаціонарних ЛЕП на кар'єрі нічим не відрізняється від подібних ЛЕП на підприємствах інших галузей економіки і будується у відповідності з вимогами ПУЕ.

Строк служби тимчасових повітряних ЛЕП залежить від технології гірничих робіт і може бути від кількох днів до кількох місяців. Вони бувають пересувними та переносними. Прокладаються тимчасові ЛЕП по робочих уступах і по мірі просування робочого обладнання вони продовжуються або скорочуються. Їх конструкція повинна бути легкою й зручною для монтажу та демонтажу. З іншого боку, ці ЛЕП піддаються дії вибухових робіт і, очевидно, їх конструкція повинна бути достатньо надійною. Будова цих ліній повинна відповідати як вимогам ПУЕ, так і вимогам ПТЕ при добуванні корисних копалин відкритим способом.

Для стаціонарних і пересувних повітряних ліній використовують голі багатодротові алюмінієві проводи марки А, сталеалюмінієві проводи марок АС та АСУ і сталеві – марок ПС та ПСМ. Алюмінієві проводи перерізом не більше 120 мм$^2$ використовують для пересувних ліній напругою 6-10 кВ, сталеалюмінієві проводи –зазвичай для ВЛ 35 кВ і більше та на лініях 6 кВ з прольотами великої довжини через природні перешкоди та споруди, а також у районах з інтенсивною ожеледицею. Сталеві проводи використовують як грозозахисні та заземлюючі троси та для слабо навантажених ліній напругою до 1000 В. Для повітряних ліній кар'єрів, розташованих поблизу солоних озер та морів або в районах, де спостерігається прискорена корозія проводів, використовують алюмінієві та сталеалюмінієві антикорозійні проводи (наприклад, АСК, в яких сталева серцевина покрита бітумним мастилом, а провід покривається пластиковою плівкою). Для пересувних мереж з частими монтажем та демонтажем бажано використовувати мідні проводи.

Для підвішування проводів використовують типові стаціонарні та пересувні опори. Для стаціонарних ліній використовують металеві, залізобетонні та дерев'яні, або комбіновані (дерев'яний стовп з залізобетонним пасинком). Дерев'яні пересувні опори з дерев'яною основою характеризується легкістю, простотою виконання та невеликою ціною, вони створюють додаткову ізоляцію відносно землі. Недоліком є невеликий строк служби. Найбільш економічними є опори із залізобетонною основою (рис. 15.14). Як пересувні використовують також металеві опори з труб на зварній металевій основі. При скельних породах на уступах використовують також металеві переносні опори, виконані із кутового заліза, які закріплюються на анкерних болтах, що закладаються у свердловини.

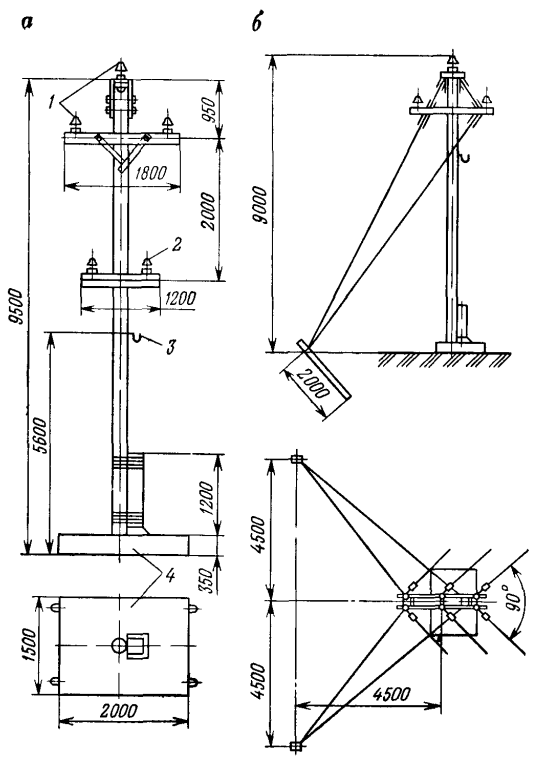



Рис. 15.14. Пересувні опори з залізобетонною основою: а) проміжна; б) кутова. Цифрами позначено: 1 – проводи ПЛ 6-10 кВ; 2 – проводи ПЛ до 1 кВ; 3 – заземлюючий провід

## Контрольні запитання

*1. Наведіть область використання кабелів на геотехнічних виробництвах.*

*2. Охарактеризуйте броньовані кабелі, їх конструкцію, наведіть маркування та область використання.*

*3. Які основні відмінності має кабель підвищеної гнучкості ЕВТ?*

*4. Які існують вимоги до гнучких кабелів у підземних виробках та яка конструктивна особливість шахтних гнучких кабелів?*

*5. Наведіть основні визначення, параметри, елементи конструкцій повітряних ліній електропередач.*

# ЛЕКЦІЯ 16. Електропостачання електровозної відкатки

16.1. Принципи електропостачання електровозної відкатки.

16.2 Акумуляторні батареї та способи їх зарядки.

16.3. Зарядні агрегати та підстанції.

16.4. Тягові агрегати та підстанції.

## 16.1. Принципи електропостачання електровозної відкатки

При транспортуванні корисної копалини на великі відстані на геотехнічних підприємствах значно поширена (особливо в підземних виробках шахт, рудників) електровозна відкатка.

В підземних виробках використовують акумуляторні, контактні електровози постійного струму та безконтактні електровози змінного струму підвищеної частоти.

Акумуляторні електровози розповсюджені поширені на вугільних шахтах. Вони бувають у виконанні рудниковому вибухонебезпечному та в рудниковому підвищеної надійності. Останні дозволяється використовувати в усіх виробках шахт I та II категорій за газом та пилом а також в виробках із свіжим струменем повітря шахт III категорії та зверхкатегорійних. В виробках з вихідним струменем повітря та в підготовчих виробках, що провітрюються вентилятором місцевого провітрювання, шахт III категорій та зверхкатегорійних за газом, використання електровозів у виконанні РП дозволяється за наявності на електровозах переносних автоматичних приладів контролю метану.

Комплекс відкатки акумуляторними електровозами (рис. 16.1) складається з встановленого в зарядній камері зарядного пристрою 2, до складу якого входять трансформатор з регулятором напруги, випрямляч з контрольно-вимірювальними приладами, апарат захисту від витоку на землю, автоматичні вимикачі, пускачі,

комплект механічного обладнання для обслуговування акумуляторних батарей; тягових батарей 3, що заряджаються; акумуляторних електровозів 4.

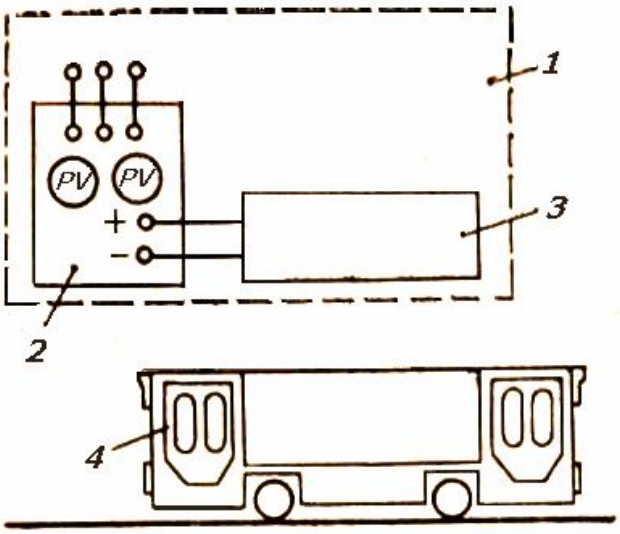



Рис. 16.1. Схема комплексу відкатки акумуляторними електровозом

Джерело живлення – акумуляторна батарея – встановлюється на електровозі. Заміна акумуляторних батарей виконується в зарядній камері. Виконання електровозу за рівнем вибухозахисту визначається виконанням батарейного ящика; інше тягове електрообладнання має виконання РВ на всіх акумуляторних електровозах. Рудникові акумуляторні електровози двохвісні; кожна вісь обладнана індивідуальним приводом.

Шахтні серійні електровози обладнані реостатною схемою керування. Але ця схема не дозволяє повністю використати тягову можливість електровозів. Тому з розвитком напівпровідникової техніки стали можливі безконтактні схеми керування – тиристорно-імпульсні схеми керування (електровози АРП10, АРП14, АРП28).

Новою системою електровозної відкатки є відкатка безконтактними електровозами змінного струму підвищеної частоти. Принцип роботи такої відкатки заснований на передачі електроенергії від живлячої підстанції до електровоза безконтактним способом – методом електромагнітної індукції струмів високої частоти.

Комплекс високочастотної відкатки (рис 16.2) складається з перетворювальної (тягової) підстанції 1, тягової мережі у вигляді двох спеціальних кабелів 3, компенсуючих конденсаторів 2 та електровозів 7.

Тягова підстанція включає перетворювач частоти (на 3000 Гц або 5000 Гц) та необхідне пускорегулююче обладнання та апаратуру керування, контролю та захисту.

Тягова мережа являє собою однофазне коло, що складається з двох одножильних кабелів, що прокладаються на відстані 400 мм один від одного, над рейковим шляхом симетрично відносно його осі та створюють замкнутий контур. Індуктивність кабелів компенсується конденсаторами 2, що приєднуються через відповідні проміжки послідовно з кабелем. Навколо кабелю виникає електромагнітне поле, яке приймається на електровозі спеціальним енергоприймачем 4, що являє собою дві плоскі обмотки із кількох витків спеціального кабелю, вкладених у незамкнуті феритові сердечники. Від енергоприймача енергія поступає через випрямляч 5 до тягових двигунів 6. Безконтактні електровози (В10, В14) мають продуктивність в 2,5 раза вищу ніж акумуляторні, зменшуються питомі витрати енергії, спрощується експлуатація транспорту.

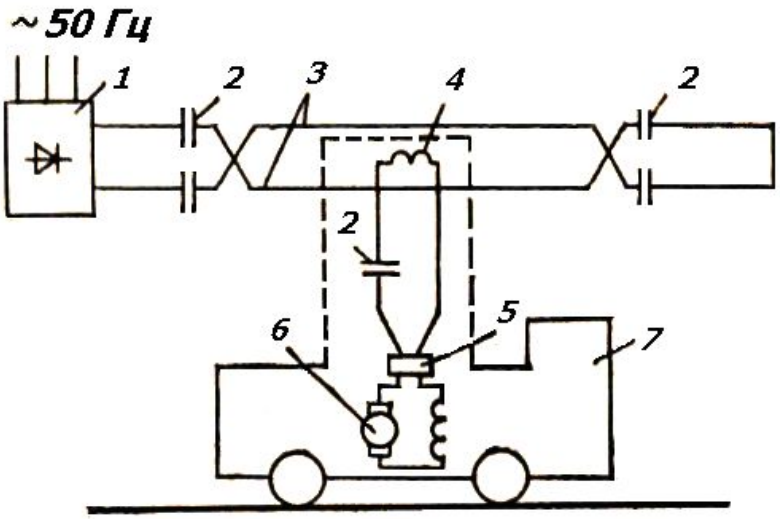



Рис. 16.2. Схема комплексу відкатки безконтактними електровозами змінного струму підвищеної частоти

Найбільш поширеною є відкатка контактними електровозами. В її комплекс (рис. 16.3) входять: перетворювач 1 з апаратом захисту від витоку на землю 3, автоматичні вимикачі 2, контактний провід 4 з арматурою підвіски, живлячі кабелі 5, дільничні вимикачі 6, рейки 7, відсмоктуюючі кабелі 8, електровоз 9.

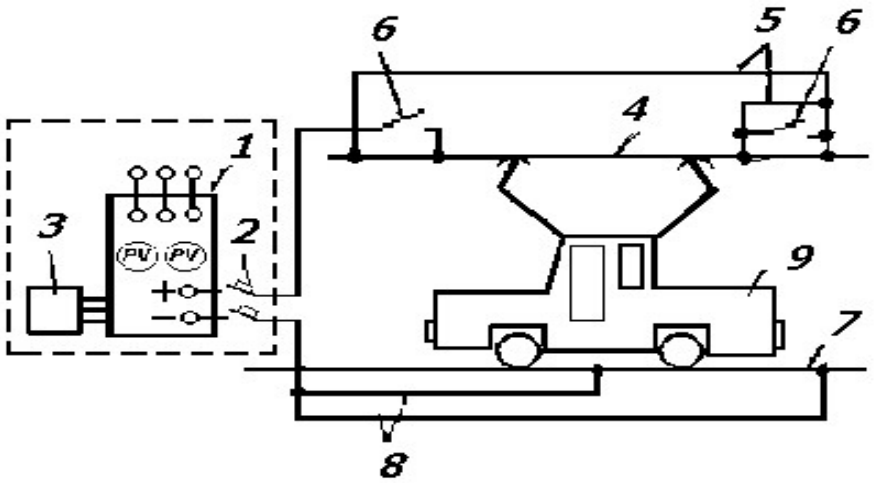



Рис. 16.3. Схема комплексу відкатки контактними електровозами

На перетворювальній підстанції трифазний змінний струм випрямлюється в постійний струм 250 або 550 В. Постійний струм за допомогою живлячих кабелів подається в контактну мережу (полярність “+”), зворотним проводом (полярність “-”) служить рейковий шлях та відсмоктуюючі кабелі. Порівняно з акумуляторними електровозами, контактні є дешевшими, простішими за конструкцією, мають більшу потужність та швидкість руху і, як наслідок, більшу продуктивність.

Аналогічний принцип електропостачання постійним струмом електровозної відкатки використовується на відкритих роботах за допомогою промислових електровозів та тягових агрегатів.

Крім того, на кар’єрах використовують промислові електровози, що живляться від тягової мережі змінного струму з номінальною напругою 10 та 25 кВ, що відповідає напрузі 11,5 та 27,5 кВ на шинах підстанції. При цьому виді відкатки перетворювач змінного струму на постійний встановлюється на борту

електровоза. Принципова схема живлення тягової мережі змінного струму приведена на рис. 7.4.

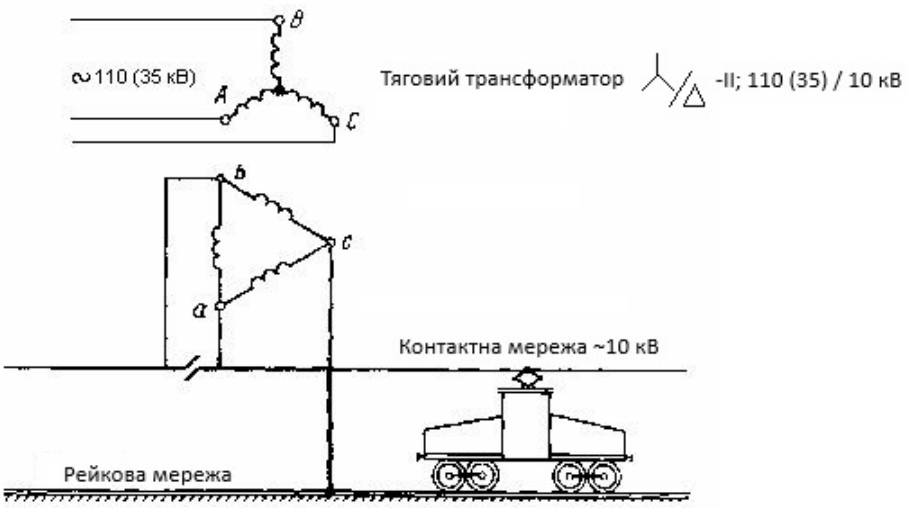



Рис. 16.4. Тягова мережа змінного струму на кар’єрах

## 16.2. Акумуляторні батареї та способи їх зарядки

Акумулятори, що застосовуються в наш час, можуть поділятися за складом електроліту на кислотні і лужні. Вони широко використовуються на рухомому складі рейкового і безрейкового транспорту (електровози, автомобілі, трактори, електронавантажувачі) в якості тягових, стартерних і допоміжних джерел струму.

Єдиним представником кислотної групи, що набули поширення, є свинцевий акумулятор, різні типи якого застосовують в основному в якості стартерних на автомобілях і тракторах.

Лужна група акумуляторів нараховує кілька електрохімічних систем, з числа яких найбільшого поширення набули нікель-залізні і нікель-кадмієві; у деяких областях техніки знайшли застосування срібно-цинкові і нікель-цинкові акумулятори.

Нікель-залізні акумулятори набули найбільшого поширення в якості тягових внаслідок доступності вихідних активних матеріалів, простоти конструкції, відносно низкою вартості, великого терміну служби і високої

надійності. Нікель-залізні акумулятори краще свинцевих забезпечені розвіданими світовими запасами нікелю.

Основними недоліками нікель-залізних акумуляторів є значний саморозряд, погана робота при низьких температурах електроліту і повна втрата працездатності при температурі електроліту від -5 до -30 °С в залежності від величини струму розряду.

Нікель-кадмієвий акумулятор зберігає працездатність при більш низькій, у порівнянні з нікель-залізними акумуляторами, температурі електроліту (межею якої є -40 °С), має менший саморозряд і, крім того, припиняє будь-яке виділення газів відразу після закінчення заряду. Остання обставина має істотне значення при експлуатації у вибухонебезпечному середовищі; у зв'язку з цим їх застосовують для вибухобезпечних переносних світильників у вугільних шахтах. Також слід зазначити, що нікель-кадмієві акумулятори можна виготовляти цілком герметизованими. Значному поширенню тягових нікель-кадмієвих акумуляторів перешкоджають дефіцитність і висока вартість кадмію.

Срібно-цинкові акумулятори, що володіють найбільш високими питомими енергетичними показниками, не знайшли широкого застосування через дорожнечу і дефіцитність срібла та малий термін служби. Нікель-цинкові акумулятори, хоча і не містять дефіцитних матеріалів, також мають малий термін служби.

Акумулятори, що використовуються для живлення тягових електродвигунів рудничних електровозів, називають тяговими. В умовному позначенні типу тягових акумуляторів за ДСТУ букви і цифри позначають: Т – область переважного застосування (тяговий); НЖ – електрохімічна система акумулятора (нікель-залізний); Ш – призначення (шахтний). Цифри після букв – номінальна ємність в ампер-годинах.

Наприклад, акумулятор ТНЖШ-500 має номінальну ємність 500 А-г.

Тягові акумулятори та укомплектовані з них батареї повинні задовольняти наступним загальним вимогам:

- висока надійність;
- великий термін служби;
- низька вартість;
- відсутність шкідливого впливу на розташовану поруч апаратуру;
- безпека обслуговування.

Вони повинні працювати при не частих доливаннях води, мати клапани заливальних отворів, що відкриваються легко та перешкоджають вихлюпуванню електроліту і забезпечують вихід газів, що виділяються. Тягові акумулятори повинні володіти достатньою механічною міцністю, зберігати працездатність у широкому діапазоні температур, при вібрації й ударах, мати досить високу віддачу енергії і потужності на одиницю власної маси й об'єму, малою швидкістю саморозряду при розімкнутому зовнішньому колі, мати малий внутрішній опір, положисту розрядну характеристику, надійну зовнішню ізоляцію, високу тепловіддачу, надійне кріплення до вивідних затискачів монтажних проводів і міжакумуляторних з'єднань.

Тягова акумуляторна батарея є одним з основних вузлів, що визначають тягово-енергетичні й експлуатаційні характеристики рудникового акумуляторного електровоза. Тому правильний вибір типу акумуляторів і технічних параметрів усієї батареї здобуває для рудникової електровозної тяги особливо важливе значення.

На вітчизняних рудникових електровозах, як правило, застосовуються нікель-залізні акумулятори типу ТНЖШ і лише на рудникових електровозах великої потужності застосовуються нікель-кадмієві акумулятори типу ТНКШ.

У лужних акумуляторах електролітом служить розчин їдкого лугу (їдкого натру $NaOH$ чи їдкого калі $KOH$), а акумуляторна посудина і рамки пластин виготовляються з нікельованої сталі. Активна маса заряджених позитивних електродів лужних акумуляторів складається з водяного окису нікелю $Ni(OH)_3$. Оскільки гідрат окису нікелю є поганим провідником струму, для збільшення

провідності маси до неї додають домішки дрібного пелюсткового нікелю, графіту і т.п.

Активна маса негативних пластин нікель-залізних акумуляторів складається зі спеціально приготовленого залізного порошку (чи магнетиту – відновленого концентрату руди). Активною масою заряджених негативних пластин нікель-кадмієвих акумуляторів є губчастий металевий кадмій з додаванням деякої кількості такого ж заліза.

Приблизний хід хімічних процесів при заряді складається з перетворення оксиду нікелю на позитивному електроді в оксиди більш високих ступенів і у відновленні оксидів заліза (чи кадмію), що утворилися, на негативному електроді в металеве залізо (чи кадмій). При розряді відбувається часткове розкислення позитивного нікелевого електрода й окислювання залізного (кадмієвого) негативного.

Загальна формула заряду для нікель-залізного акумулятора має наступний вигляд:

$$2Ni(OH)_2+Fe(OH)_2+KOH \underset{\text{розряд}}{\overset{\text{заряд}}{\rightleftarrows}} 2Ni(OH)_3+Fe+KOH$$

Електроліт в акумуляторах відіграє роль провідника струму між електродами. Через те, що електроліт не розкладається, кількість його в акумуляторі порівняно мала. Крім того, активна маса лужних акумуляторів не розчиняється в електроліті і не піддається значним об'ємним змінам. Ця обставина має велике значення для довговічності акумуляторів.

Основним матеріалом, що використовується при виробництві посудин і пластин для лужних акумуляторів, є нікельована сталь, завдяки чому є можливість додати елементам значну міцність.

Активна маса пластин лужних акумуляторів укладена в нікельовані пакети з великою кількістю отворів невеликого діаметра. Отвори ці менше зерен активної маси, що виключає можливість випадання останньої з пакетів і утворення на дні посудини струмопровідного осаду, які служать найчастіше причиною коротких

замикань. Активна маса пластин обох знаків, незважаючи на домішки, проводить струм погано. Оскільки пресована маса мало пориста, пластини виконуються дуже тонкими. Це викликає необхідність збільшувати кількість пластин.

Як негативні, так і позитивні пластини складаються зі сталевої нікельованої рамки чи ламелі з великими комірками, у які запресовані пласкі коробочки чи пакети з тонкої перфорованої і нікельованої сталі. У ці пакети вміщують спресовані брикетики активної маси. У верхній частині кожної пластини наявний круглий отвір, через який проходить сталевий нікельований стрижень, що скріплює пластини однакового знаку.

Корпус і кришку акумулятора виконують звареними зі сталевих нікельованих листів. На кришці акумулятора є отвір з автоматичним клапаном. Клапан служить для поповнення електроліту, запобігає його розбризкуванню та пропускає гази, як тільки тиск всередині акумулятора стане вище атмосферного, і дозволяє уникнути контакту електроліту з повітрям, що спричинило б утворення вуглекислих солей і псування електроліту.

Відповідно до ДСТУ для рудникових електровозів випускаються лужні ламельні акумуляторні батареї типу ТНЖШ різної ємності. Цифра, що стоїть після зазначених букв, позначає номінальну (п’ятигодинну) ємність в ампер-годинах, а цифра, що стоїть перед буквами, вказує число послідовно з'єднаних елементів у батареї.

Наприклад, батарея 112ТНЖШ-500 – тягова, нікель-залізна ємністю 500 А·год, має 112 елементів. Стандартні ємності електровозних акумуляторів: 300, 350, 500, 550 і 650 А·год. Букви, що стоять після ємності позначають: У – кліматичне виконання (у даному випадку для районів з помірним кліматом), П – пластмасовий бак.

Напруга на початку заряду у акумуляторів НК може знаходитися в межах 1,45-1,5 В, в акумуляторів НЖ у межах 1,55-1,6 В. Кінцева напруга в обох типах акумуляторів знаходиться в межах 1,75-1,85 В. Нормальна тривалість заряду дорівнює 6 год. У процесі розряду напруга монотонно спадає від 1,45 В у

акумуляторів НЖ і від 1,35 В у акумуляторів НК до мінімально припустимого значення 1 В.

Без особливої шкоди лужний акумулятор можна розряджати і нижче зазначеної кінцевої напруги, але робити такі розряди не рекомендується, тому що це практично невигідно – напруга нижче 1 В дуже швидко падає до нуля, а активна маса на електродах піддається незворотнім змінам.

Номінальна ємність акумулятора $Q_н$ є його найважливішим технічним параметром. По номінальній ємності нормуються величини струмів при заряді та розряді акумуляторів.

У відповідності з ДСТУ для акумуляторів НЖ величина нормального зарядного струму (А) при шестигодинному режимі заряду визначається за формулою:

$$I_з=0,25Q_н, \qquad (16.1)$$

де $Q_н$ – номінальна ємність акумулятора, А*год.

Кожен лужний акумулятор дає середню напругу 1,2 В, тому для одержання необхідної напруги акумулятори звичайно з'єднуються послідовно.

Кожна схема з'єднання і розташування акумуляторів в електровозній батареї повинна задовольняти наступним вимогам:

- розташування елементів у ящику повинне забезпечувати їхню стійкість при русі електровоза та мінімальні пошкодження посудин при поштовхах і ударах; найбільш стійким буде таке розташування елемента, при якому його пластини виявляться перпендикулярними до напрямку руху, тобто до осі електровоза;

- число міжелементних з'єднань і витрата на них металу повинні бути мінімальними;

- схема з'єднань повинна бути простою щоб уникнути помилок при її складанні;

- різниця потенціалів між двома будь-якими сусідніми елементами повинна бути мінімальною щоб уникнути саморозряду і коротких замикань (перекриттів) елементів.

Для тягових лужних акумуляторів при шестигодинному режимі заряду приймається постійний зарядний струм, рівний 0,25 їхньої номінальної ємності, тобто при заряді акумулятору надається кількість електрики $Q_з=1,5Q_н$. При п'ятигодинному режимі розряду коефіцієнт віддачі акумулятора складає за ємністю 0,66, за енергією 0,47. Однак заводи-виробники рекомендують приймати величину зарядного струму $0,28Q_н$, тобто $Q_з>1,5Q_н$, тоді коефіцієнт віддачі за ємністю складе 0,60, а за енергією 0,43. Практично ж коефіцієнт віддачі за енергією в шахтних умовах не перевищує 0,4.

Нині для заряду акумуляторних батарей рудникових електровозів застосовують напівпровідникові зарядні пристрої з автоматичною стабілізацією зарядного струму за допомогою дроселів насичення чи спеціальних тиристорних схем.

Іншим, більш простим способом заряду акумуляторної батареї є заряд шляхом безпосереднього приєднання її до джерела зі сталою напругою, наприклад до виходу некерованого випрямляча. Для обмеження струму в зарядному колі часто використовують нерегульований резистор R. У цьому випадку в міру зростання ЭРС батареї $E_б$ відбувається зменшення зарядного струму $I_з$:

$$I_з = \frac{U - E_б}{R + R_б}, \qquad (16.2)$$

де U – напруга джерела, В; $R_б$ – внутрішній опір батареї акумуляторів, Ом.

При постійній напрузі джерела U напруга на батареї в процесі заряду поступово підвищується, тому що зменшується падіння напруги на резисторі:

$$U_б = U - I_з R_б. \qquad (16.3)$$

Слід зазначити, що в процесі заряджання батареї її внутрішній опір падає, але не в тій мірі, що зростає ЕРС батареї, тому струм заряду при підтримці сталої напруги джерела падає.

Спосіб заряду при падаючому значенні струму одержав назву "заряду по автоматичній кривій". Ніяких спеціальних пристроїв чи схем для його здійснення не потрібно. Очевидно, що при цьому способі час заряду подовжується в порівнянні з попереднім. Якщо при заряді за першим способом час заряду складав 6 год, то при заряді за останнім способом він збільшується до 10 год. Цей час може бути зменшеним до 7-7,5 год, якщо допустити підвищену величину струму на початку заряду.

Проміжне положення між режимами заряду падаючим і сталим струмом займає режим заряду ступінчастою зміною зарядного струму зі стабілізацією його на кожному ступені. Такий спосіб заряду (звичайно з двома ступенями) знайшов застосування для свинцевих акумуляторних батарей.

Дослідженнями встановлено, що режим заряду сталим струмом не є найбільш раціональним через збільшення витрат енергії на газовиділення в кінцевій стадії заряду батареї, однак він дозволяє здійснити заряд у мінімальний час, що важливо для вугільних шахт, де протягом зміни необхідно цілком зарядити і підготувати батарею до роботи.

Ведуться також дослідження з винайдення прискорених режимів заряду тягових батарей з використанням охолодження акумуляторів, що забезпечує високу продуктивність операції по заряду.

Автоматизація процесу заряду як при способі сталого струму, так і при способі падаючого струму в теперішній час практично може бути здійснена лише в тому випадку, якщо кожна батарея заряджається від окремого випрямляча. Таке заряджаня одержало назву індивідуального.

## 16.3. Зарядні агрегати та підстанції

Автоматизація забезпечує підвищення надійності та електробезпеку, а також зниження трудомісткості обслуговування зарядних випрямлячів та акумуляторних батарей. На автоматизованих зарядних підстанціях передбачають:

1. Дистанційне (автоматичне) ввімкнення агрегатів з можливістю місцевого керування за допомогою кнопок, встановлених на лицьовій стороні зарядного пристрою;

2. Автоматичне регулювання зарядного режиму (стабілізацію струму чи напруги, програмне автоматичне регулювання);

3. Автоматичне від'єднання зарядного пристрою від мережі: нормальне – після закінчення заряду; аварійне – при спрацюванні захисту від коротких замикань, при спрацюванні реле витоку, при порушенні режиму охолодження випрямляча та при перегріві акумуляторів;

4. Запобігання роботи випрямляча в режимі холостого ходу та блокування його ввімкнення при неправильній полярності приєднання акумуляторної батареї, що заряджається;

5. Сигналізацію про нормальну роботу зарядних пристроїв та про припинення заряджання акумуляторних батарей.

Автоматичне регулювання процесу заряду через його велику тривалість (3-4 год. при прискореному заряді, 6 год. при нормальному та 10 год. при посиленому) є основним фактором, що забезпечує зниження трудомісткості обслуговування зарядних підстанцій. Промисловістю освоєно ряд зарядних пристроїв типу УЗА-160-320У5 та УЗА-200-230У5, основні технічні дані яких наведені в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1. Основні технічні дані тиристорних автоматизованих зарядних пристроїв серії УЗА

| | УЗА-160-320У5 | УЗА-200-230У5 |
|---|---|---|
| Виконання | РП | РП |
| Номінальний зарядний струм, А | 160 | 200 |
| Номінальна випрямлена напруга, В | 320 | 230 |
| Типи батарей, що заряджаються | 126ТНЖШ-550<br>126ТНЖШ-650<br>154ТНЖШ-550<br>161ТНЖШ-650 | 66ТНЖ-350<br>80ТНЖ-350<br>91ТНЖШ-550<br>96ТНЖШ-500<br>102ТНЖ-350<br>108ТНЖШ-500<br>112ТНЖШ-350<br>112ТНЖШ-550 |
| Напруга мережі, В | 660/380 | 660/380 |
| ККД при номінальному навантаженні, не нижче | 0,9 | 0,9 |
| Коефіцієнт потужності, не нижче | 0,7 | 0,7 |
| Точність стабілізації струму, % | ±5 | ±5 |

Зарядні пристрої серії УЗА виготовлені з природним повітряним охолодженням, мають однакову схему (рис. 16.5), що складається з наступних функціональних блоків: силового трансформатора Тр1, блоку силових вентилів, блоку живлення БЖ, блоку автоматичного керування БК, блоку фазоімпульсного керування тиристорами БФІК, блоку реле часу РЧ, блоку сигналізації БС та реле витоку РВ.

Випрямлення змінного струму здійснюється за трифазною несиметричною (напівкерованою) схемою, зібраною на трьох тиристорах ТІ-ТЗ й трьох діодах Д1-Д3. Випрямлена напруга регулюється силовими тиристорами впливом на їхню систему за допомогою системи фазоімпульсного керування. Система автоматичного регулювання зі зворотними зв'язками за струмом ЗЗІ (від датчика струму ДС) та за напругою ЗЗU забезпечує режими автоматичного заряду батарей:

- при постійній силі струму;
- при постійній напрузі;
- комбінований з автоматичним переходом з першого режиму на другий.

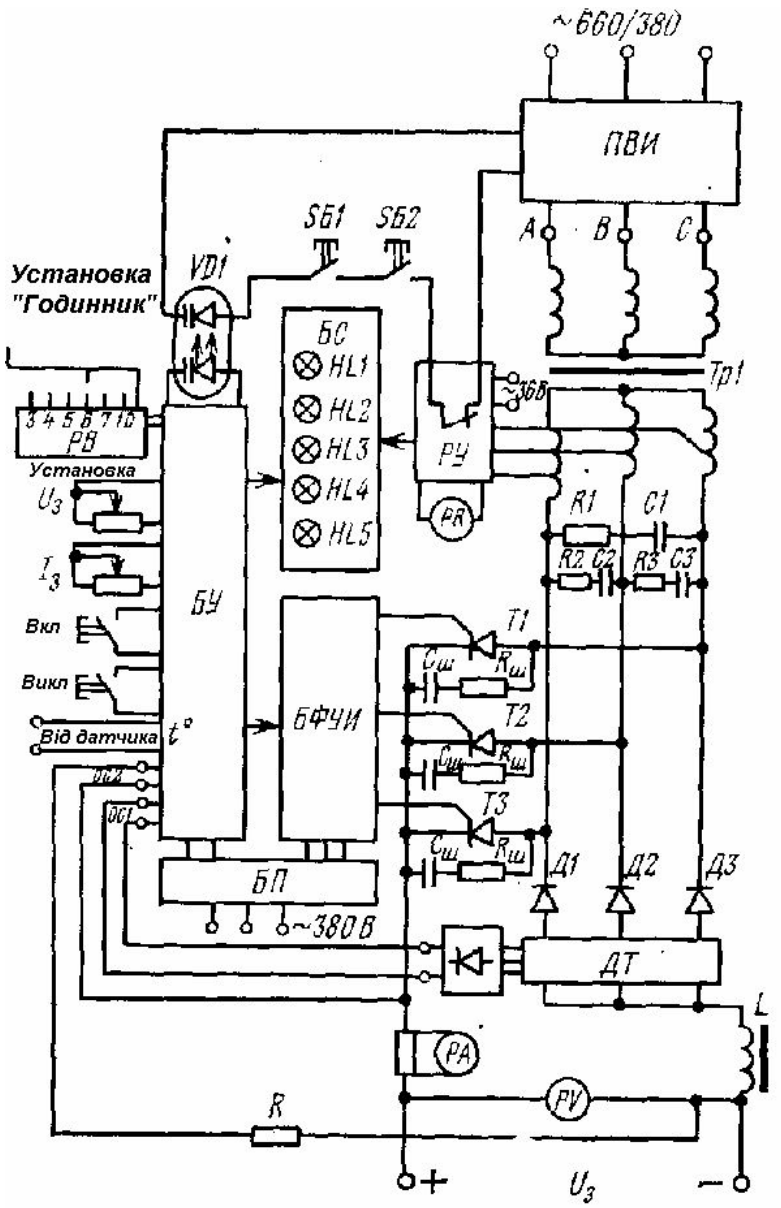



Рис. 16.5. Принципова електрична схема рудникових зарядних пристроїв серії УЗА

Операція відключення зарядного пристрою після закінчення заряду батарей автоматизована за допомогою електронного реле часу з дискретним регулюванням уставки 3, 4, 5, 6, 7 та 10 годин.

У пристроях серії УЗА застосований захист від витоків струму на землю за допомогою вбудованого реле витоку, схема якого аналогічна показаної на рис. 16.6. У схемі захисту від коротких замикань та від перевантаження використані електронні вузли. Датчик струму виконаний на спеціальних

трансформаторах струму, приєднаних в коло вентилів. Передбачені також захист від холостого ходу зарядного пристрою; блокування, що запобігає ввімкненню при неправильній полярності приєднання батареї; блокування дверей за допомогою кнопкових елементів 8Б1, 8Б2 та можливість автоматичного вимкнення зарядного пристрою при перегріві акумуляторів. Вимірювальні прилади: амперметр PA, вольтметр PV та кілоомметр PR, а також світлова сигналізація за допомогою ламп: HL1 – «Ввімкнено», HL2 – «Заряд закінчено»; HL3 – «Витік струму», HL4 – «Перегрів акумуляторів», HL5 – «Перевантаження» забезпечують контроль за роботою зарядного пристрою та фіксування спрацьовування захистів. Сигнал на вимикання магнітного пускача ПВИ подається за допомогою тиристорного оптрона VD1, що забезпечує гальванічну розв'язку іскробезпечних кіл керування. У зарядних пристроях серії УЗА забезпечено більш високий рівень автоматизації в порівнянні з пристроями серії ЗУК, однак останні мають кращі енергетичні й масогабаритні показники.

Важливим новим напрямком є розробка тиристорних розрядно-зарядних пристроїв для тягових акумуляторних батарей рудникових електровозів з віддачею енергії розряду в мережу. Актуальність цих розробок визначається необхідністю проведення формувальних контрольно-відновлювальних циклів заряду-розряду тягових акумуляторних батарей при первісній установці та після ремонту.

Розробка нових зарядно-розрядних пристроїв з рекуперацією енергії в мережу при розряді ведеться на основі застосування трифазного мостового випрямляча-інвертора на тиристорах.

В умовах недостатнього матеріального забезпечення шахт силовою напівпровідниковою електронікою (силовими тиристорами) раніше застосовувалися модернізовані варіанти зарядних пристроїв ЗУК-155/230М та ЗУК-75/120М. Технічні дані цих зарядних пристроїв наведені в таблиці 16.2.

Таблиця 16.2. Основні технічні дані рудниних зарядних пристроїв серни ЗУК

| | ЗУК-155/230М | ЗУК-75/120М |
|---|---|---|
| Виконання | РП | РП |
| Номінальний випрямлений струм, А | 155 | 75 |
| Номінальне випрямлена напруга, В | 230 | 120 |
| Напруга живильної мережі, В | 380/660 ± 10% | 380/660 ± 10% |
| ККД, % | 93 | 86 |
| Коефіцієнт потужності | 0,82-0,88 | 0,82-0,88 |
| Типи батарей, що заряджаються | 80ТНЖ-350; 96ТНЖ-350; 112ТНЖШ-500; 126ТНЖШ-500; 126ТНЖШ-550 | 66ТНЖ-300; 36ТНЖ-300 |
| Точність стабілізації струму, % | ±5 | ±5 |

Принцип роботи зарядних пристроїв серії ЗУК з автоматичною стабілізацією струму заснований на використанні регулювальних властивостей силового магнітного підсилювача і трифазного моста на кремнієвих вентилях. Конструктивно зарядний пристрій типу ЗУК виконано у виді шафи, у якій встановлені силовий трансформатор, магнітний підсилювач (МП), вентильний блок реле витоку, вентилятор з електродвигуном та інші елементи схеми. На передніх дверях розміщені електровимірювальні прилади та кнопки керування.

Електрична схема зарядного пристрою ЗУК-155/230М с пускачем ПМВИ-23 показана на рис. 16.6. Випрямний блок ВБ живиться через силовий трансформатор Тр від трифазної мережі змінного струму напругою 660 чи 380 В.

На первинній обмотці трансформатора Тр передбачені відпайки для компенсації тривалих відхилень напруги живлячої мережі (+10%); на вторинній обмотці – відпайки для дискретної зміни напруги відповідно до типу батареї, що заряджається. Плавне регулювання випрямленої напруги досягається зміною струму підмагнічування МП, робочі обмотки якого приєднані в коло силових вентилів.

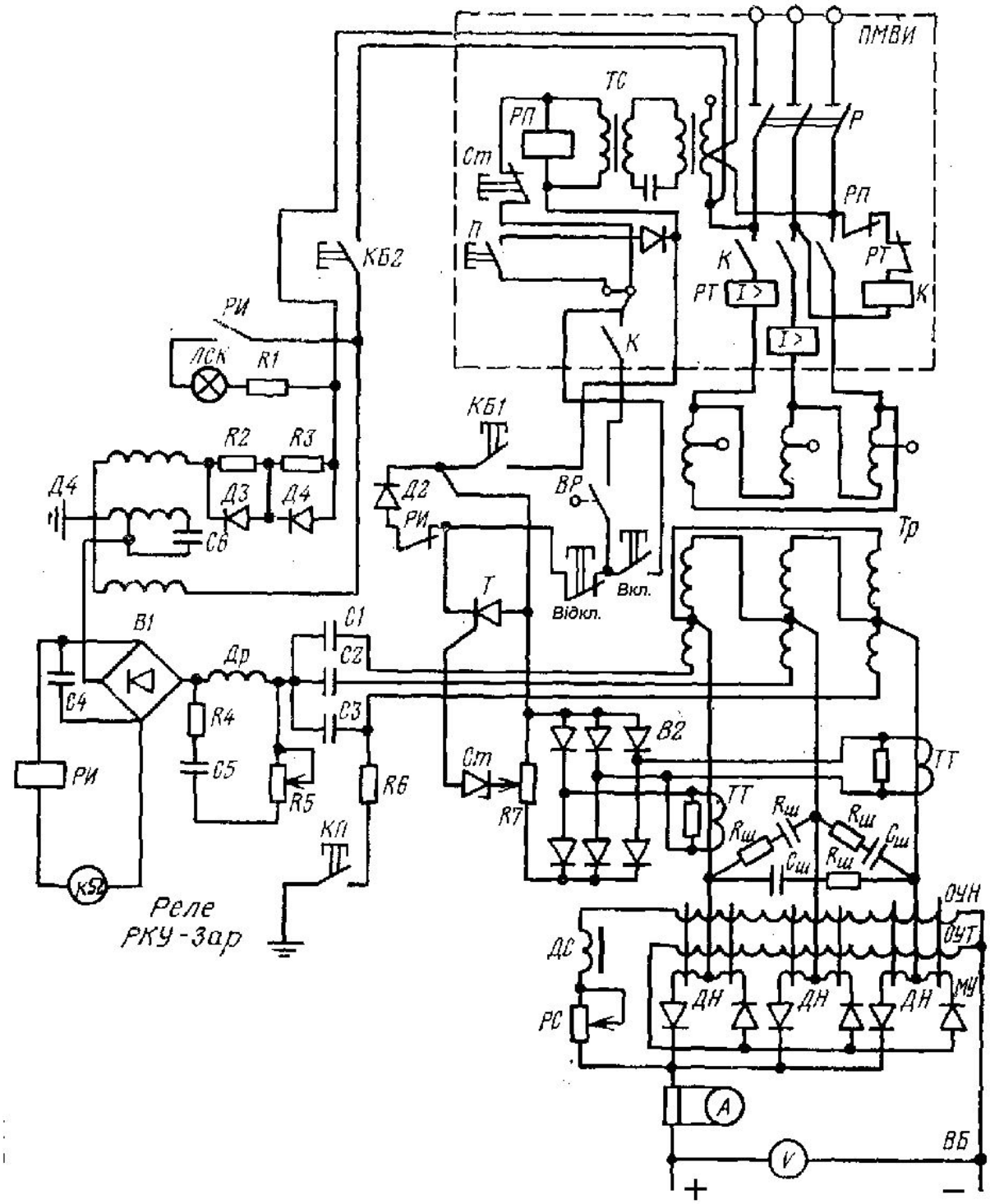



Рис. 16.6. Принципова електрична схема зарядного пристрою ЗУК-155/230М

Компенсаційна система автоматичної стабілізації зарядного струму з зовнішнім негативним зворотним зв'язком по напрузі виконана без проміжних підсилювачів. Обмотки керування, струмова ОУТ та напруги ОУН включені за магнітними потоками зустрічно й охоплюють усі шість осердь МП. Обмотка

ОУТ, що має один виток, використовується для створення негативного зворотного зв'язку та для зсуву характеристики силового МП, що дозволяє більш повно використовувати діапазон його регулювання. Обмотка ОУН ввімкнена на вихідну напругу, так що в міру зростання ЕРС батареї, що заряджається, струм у цій обмотці збільшується. Результуюча намагнічуюча сила збільшується, що збільшує насичення осердь МП та запобігає різкому зменшенню струму в процесі заряду батарей. Автоматичне регулювання забезпечує стабілізацію зарядного струму з точністю до ±5%. Силу струму в колі обмотки ОУН можна регулювати резистором РС, змінюючи випрямлену напругу в необхідних межах. Щоб подавити змінну складову в коло включено дросель ДС. Істотна особливість силового МП зарядного пристрою полягає в тому, що він розрахований на невелику глибину регулювання випрямленої напруги (20-25%). Така глибина достатня для автоматичної стабілізації струму: збільшення діапазону регулювання викликає збільшення габаритів й типової потужності МП, а також погіршення енергетичних показників.

Для ввімкнення та вимкнення зарядного пристрою використовується відповідний рудниковий магнітний пускач, що встановлюється окремо. Пускач забезпечує автоматичне вимикання при спрацьовуванні захисту від коротких замикань та перевантажень, а також при спрацьовуванні реле витоку РКУ-Зар, вбудованого в зарядний пристрій.

Для захисту напівпровідникових вентилів від комутаційних перенапруг, на вторинній стороні силового трансформатора приєднані резисторно-ємнісні ланцюжки $R_ш$, $C_ш$.

Захист зарядного пристрою від перевантажень та коротких замикань здійснений безконтактним блоком, що вимикає магнітний пускач. Як датчики струму використовуються трансформатори струму ТТ, встановлені в двох фазах на вторинній стороні силового трансформатора. Від вторинних обмоток ТТ, навантажених баластовими опорами, живиться випрямляючий міст В2, навантаженням якого є дільник R7 у вхідному колі стабілітрона СТ.

При виникненні короткого замикання тиристор Т відкривається та шунтує діод Д2 у колі кнопкового поста керування. Внаслідок цього проміжне реле РП вимикається та розмикає свій контакт у колі котушки К магнітного пускача, який вимикає мережу змінного струму. Захист від витоків струму на землю в зарядному колі та у вторинній обмотці силового трансформатора здійснюється за допомогою реле РКУ-Зар, яке вимикає пускач.

Реле витоку живиться від пускача. Вимірювальне коло реле, що живиться від джерела оперативного струму частотою 25 Гц, складається з випрямного моста В1, чутливого реле РИ, кілоомметра kΩ, загороджувального фільтра ДР-С5 та фільтра приєднання СІ-СЗ. При зниженні опору ізоляції нижче припустимого чи дотику людини до струмоведучих частин, реле РИ спрацьовує та розмикає свій контакт у колі керування магнітного пускача. Другий контакт РИ вмикає сигнальну лампу ЛСК. Для перевірки справності реле витоку використовується кнопка КП. Примусова вентиляція контролюється за допомогою вітрового реле ВР. Кнопкові елементи дверного блокування ДО, Б1-КБ2 вимикають живлення при відкриванні дверей шафи зарядного пристрою.

Електрична схема зарядної підстанції залежить від кількості та типів застосовуваних зарядних агрегатів. В якості типових проектів для тягових батарей електровозів 4,5АРП21М та 5АРВ2 застосовувались зарядні пристрої ЗУК-75/120М, а для електровозів АРП7, АРВ7, АМ8-1, АМ8-2, АМ8Д, АРП10 й 13АРП – пристрої ЗУК-155/230М.

Живлення зарядних пристроїв у шахтах, небезпечних за газом чи пилом, відбувається від вибухобезпечних трансформаторів типу ТСВ чи пересувних підстанцій типу ТСВП відповідної потужності. Високовольтні розподільчі пристрої встановлюють у центральній підземній підстанцій шахти. Керування високовольтними КРП дистанційне за допомогою кнопкових постів керування, що знаходяться в камері перетворювальної підстанції. Для вмикань, вимикань захисту підстанції на стороні 660/380 В трансформаторів типу ТСВ встановлюють фідерний автомат серій АФВ або АВ з реле витоку. При установці підстанції типу

ТСВП для цих цілей використовують автомат, що входить у комплектну пересувну підстанцію.

Зарядні пристрої ЗУК-75/120М приєднуються до мережі 600/380 В через магнітні пускачі ПВИ-63, а пристрої ЗУК-155/230М – через пускачі ПВИ-125. До зарядних пристроїв на стороні постійного струму броньованим кабелем приєднуються шинні коробки ВШК-1М, що встановлюються біля зарядних столів. До шинних коробок гнучким кабелем марки ГРШН приєднуються штепсельні муфти, що приєднуються до батареї, яка заряджається.

Схема електричних з'єднань перетворювальної підстанції на 16-20 зарядних пристроїв ЗУК-155/230М показана на рис. 16.7. Конструктивно зарядна перетворювальна підстанція разом з камерою для заряджання батарей та ремонтної майстерні складає комплекс підземного електровозного депо (гаража).

## 16.4. Тягові агрегати та підстанції

Тягова підстанція складається з перетворювальних агрегатів і розподільчих пристроїв змінного та постійного струму. Шахтна тягова підстанція монтується в спеціальній камері стаціонарно чи у вигляді пересувного агрегату.

Як зазначалося вище, для живлення шахтних тягових мереж застосовують, як правило, напівпровідникові випрямляч із кремнієвими вентилями.

Тягова підстанція – це комплектний агрегат, що складається з: силового блоку вентилів, системи їхнього охолодження, пристроїв для вирівнювання струмів і напруги на вентилях, апаратів керування, захисту, контролю і сигналізації, захисно-комутаційних апаратів і контрольно-вимірювальних приладів. Найбільшого поширення в шахтах і рудниках набули стаціонарні автоматизовані тягові підстанції АТП. У схемі підстанції АТП-500/275М застосовані некеровані вентилі, у схемі підстанції АТП-500/600 –тиристори.

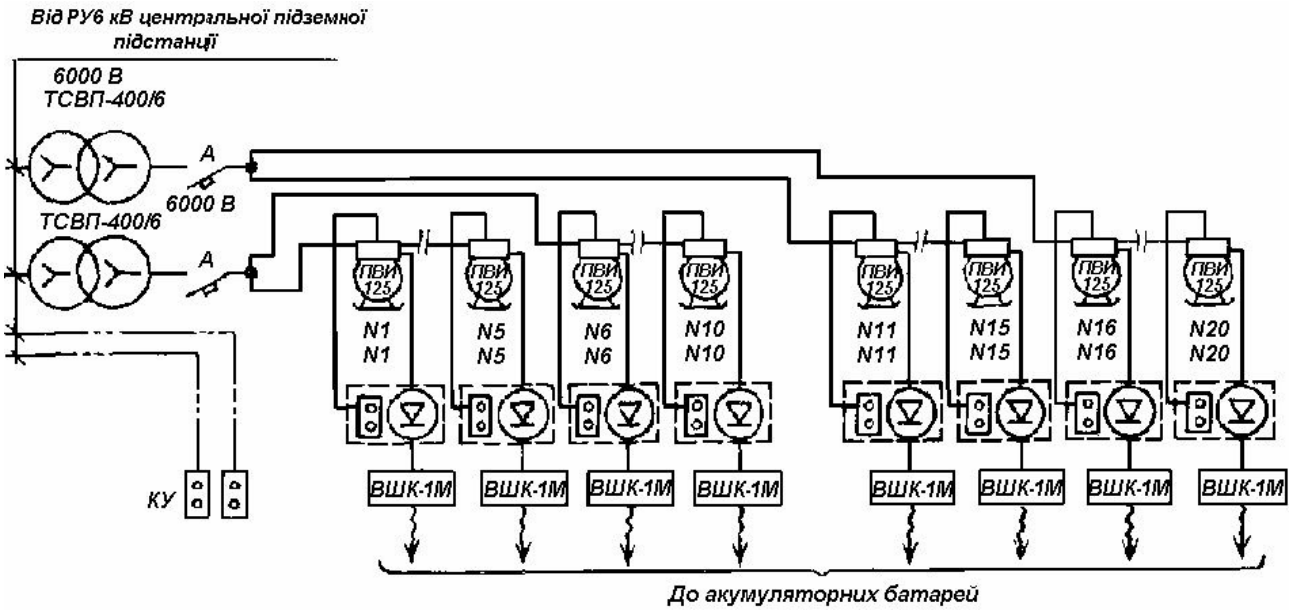



Рис. 16.7. Схема електричних з’єднань зарядної перетворювальної підстанції

Нині випускаються модернізовані тягові агрегати АТП-500/275М1-У5 та АТП-500/600М1-У5 на напругу відповідно 275 та 600 В. Обидва типи перетворювачів виконані на некерованих вентилях і мають уніфіковану схему та конструкцію. Для живлення цих випрямлячів виготовляються спеціальні перетворювальні трансформатори ТСП-160/6-77У5 та ТСП-320/6-76У5. В схемі модернізованого тягового перетворювального агрегату АТП-500/275М1-У5 (рис. 16.8) застосований автоматичний вимикач QF А-3742Б, що приєднаний в коло вторинної обмотки перетворювального трансформатора Тр.

Вузол захисту діє за швидкістю наростання струму. У даній схемі забезпечена гальванічна розв'язка кіл керування за допомогою трансформатора Т1. Має місце система примусового повітряного охолодження. Охолоджувані елементи, винесені в спеціальні відсіки, відділені від верхнього герметизированого відсіку, у якому розташовані силові вентилі, запобіжники, автоматичний вимикач та панель з апаратурою керування.

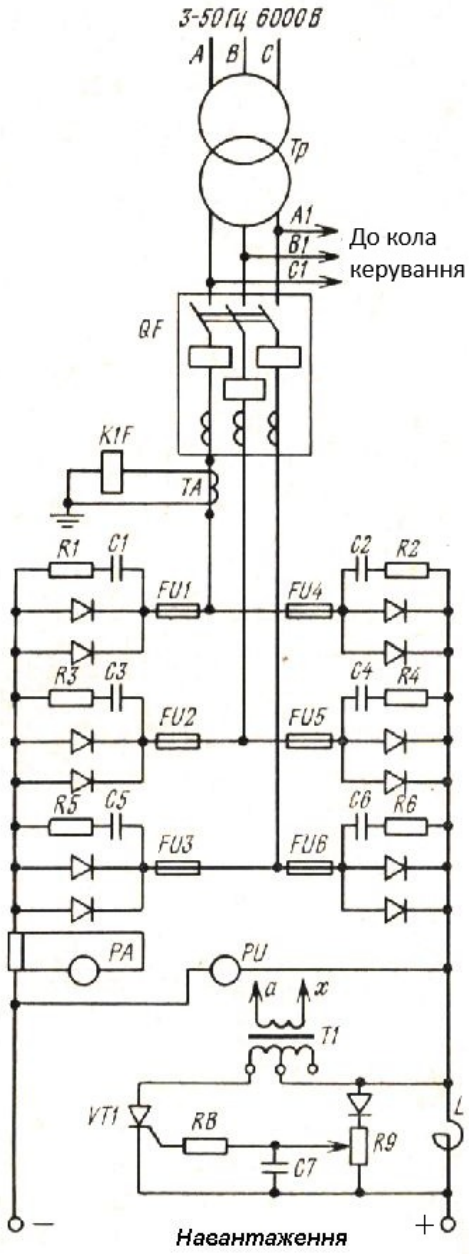



Рис. 16.8. Принципова електрична схема тягового перетворювального агрегата АТП-500/275М1-У5

З різних варіантів виконання тягових підстанцій, на кар’єрах поширені два типи: тягові (для живлення електротранспорту) та сумісні підстанції, які живлять тягове та промислове навантаження. Крім того, тягові підстанції бувають постійного струму, та підстанції однофазного змінного струму.

Тягові підстанції постійного струму складаються з РУ первинної напруги, перетворювальних агрегатів, РУ постійного струму, зглажуючих пристроїв та пристроїв власних потреб (рис. 16.9).

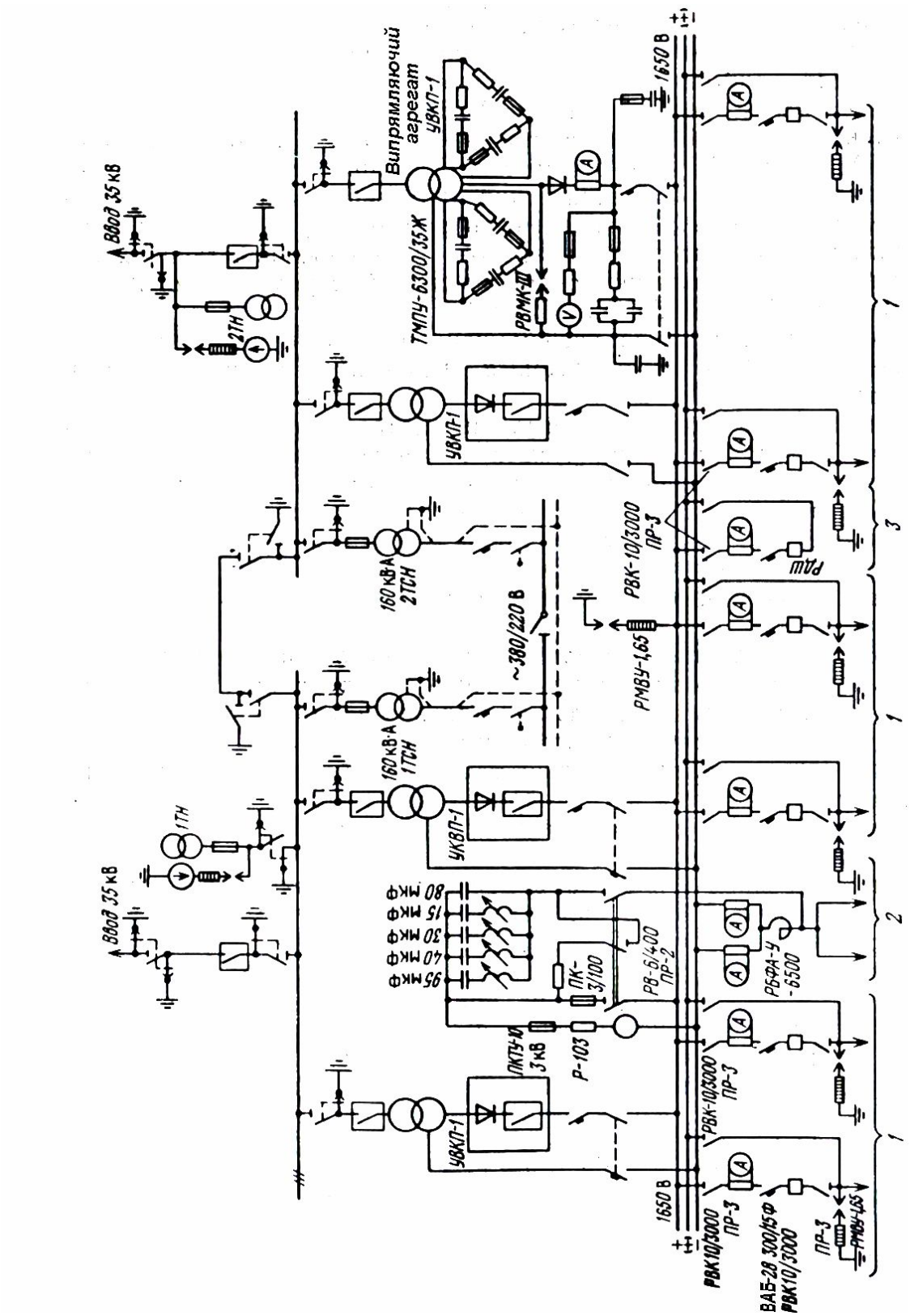



Рис. 16.9. Схема головних кіл несумісної тягової підстанції постійного струму:

1 – живлячі лінії постійного струму (до контактної мережі); 2 – фільтруючий пристрій та відсмоктуючі лінії постійного струму (до рейки); 3 – запасний швидкодіючий вимикач

лінії постійного струму (до рейки); 3 – запасний швидкодіючий вимикач

Перетворювальні агрегати складаються з випрямляючих шаф з кремнієвими діодами, живлячих трансформаторів, швидкодіючих автоматичних вимикачів, шаф захисту та керування, пристроїв захисту від перенапруги. На кар'єрах поширені перетворюючі агрегати типів УВКП-1, ПВЕ-3У, ПВЕ-3М, ПВЕ-5А, ПВЕ-5АМ, та ін.

При нульовій схемі випрямлення катоди всіх випрямляючих агрегатів за допомогою швидкодіючих вимикачів приєднані до збірної шини "плюс", а нульові точки тягових трансформаторів за допомогою роз'єднувачів – до шини "мінус".

Розподільчий пристрій постійного струму складається з трьох несекційованих шин: одної шини "мінус" та двох шин «плюс», з яких одна резервна і використовується для заміни без перерви живлення будь-якого вимикача живлячих ліній на запасний.

## Контрольні запитання

*1. З чого складається комплекс електровозної відкатки акумуляторними електровозами?*

*2. З чого складається комплекс відкатки контактними електровозами?*

*3. З чого складається комплекс безконтактної електровозної відкатки підвищеної частоти?*

*4. З яких частин складаються акумуляторні батареї і якими параметрами вони характеризуються?*

*5. Опишіть процес заряджання акумуляторних батарей. Яке призначення та функції у зарядних агрегатів та зарядних підстанцій?*

# ЛЕКЦІЯ 17. Будова та розрахунок тягових мереж

17.1.Тягові мережі та їх виконання в шахті та на кар’єрах.

17.2. Задачі тягового розрахунку.

17.3 Методи розрахунку тягових мереж.

17.4. Визначення кількості зарядних агрегатів та по-тужності трансформаторів зарядної підстанції.

## 17.1. Тягові мережі та їх виконання в шахті та на кар’єрах

Тягова мережа складається з контактної мережі, живлячих, підсилюючих та відсмоктуючих ліній, рейкового кола (рис. 17.1).

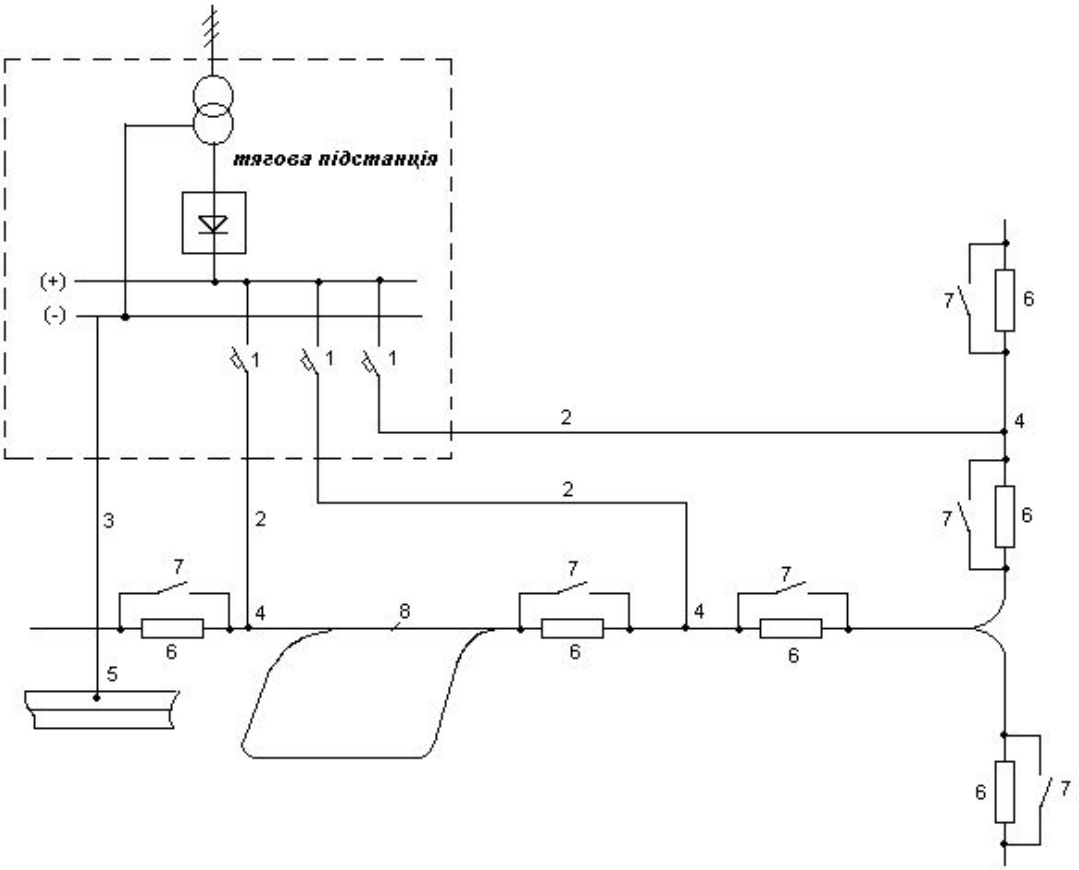



Рис. 17.1. Схема тягової мережі шахти: 1 – автоматичний вимикач; 2 – живлячий кабель; 3 – відсмоктуючий кабель; 4 – живлячий пункт; 5 – відсмоктуючий пункт; 6 – секційний ізолятор; 7 – секційний роз’єднувач; 8 – контактна мережа

Контактна мережа 8 живиться від тягової підстанції через автоматичні вимикачі 1, живлячі 2 та підсилюючі кабелі. Зворотній стум із рейкового кола поступає на підстанцію через відсмоктуючий кабель 3. Місця приєднання живлячого кабелю до контактного проводу та відсмоктуючого кабелю до рейок називаються відповідно живлячим 4 та відсмоктуючим 5 пунктами.

Кожна тягова підстанція живить розгалужену контактну мережу, розташовану над залізничними коліями різного призначення, зв'язаними загальною технологічною схемою роботи відкатки. Надійне функціонування і зручність обслуговування контактної мережі досягаються поділом її на окремі ділянки, що з'єднуються між собою секційними роз'єднувачами 7. Такий поділ мережі дозволяє вимкнути будь-яку ділянку шляху для виконання профілактичних робіт і при ліквідації ушкоджень без припинення руху на інших ділянках дороги. При складанні схеми живлення і секціонування контактної мережі враховують її поділ на окремі ізольовані ділянки – секції, що одержують живлення по самостійних лініях. Секції контактної мережі відокремлюються одна від одної секційними ізоляторами 6.

Відповідно до ПТЕ секційні ізолятори і роз'єднувачі повинні встановлюватися через кожні 500 м контактної мережі, а також на всіх відгалуженнях. У деяких випадках живлення кожної ділянки контактного проводу здійснюється за допомогою окремих живлячих ліній.

Контактний провід виконується з міді чи бронзи, має спеціальний профіль, виготовляється з перерізом 65, 85, 100, 120, 150 мм$^2$ марок МФ, БрФ – мідні та бронзові фасонні та МФО, БрФО – мідні та бронзові фасонні овальні.

Підвішування контактного проводу виконується за допомогою спеціальних підвісних затискачів, що складаються з двох щік. Підвісний затискач підвішується до бокового кріплення виробки за допомогою поперечних підтримуючих тросів (гнучкий спосіб підвіски) або закріплюється на кріпленні (жорсткий спосіб). На рис. 17.2 показано гнучкий спосіб підвішування контактного проводу, де

контактний провід 2 утримується під покрівлею виробки підвісним затискачем, який кріпиться до підвісу 1. Останній на відтяжках 4 кріпиться до бокових стінок виробки за допомогою хомутів 6. Для забезпечення подвійної ізоляції контактного проводу від землі використовуються ізоляційний болт підвісу 1 та ізолятори 3, котрі вставляються в відтяжки 4. В сухих виробках застосовують пряжкові ізолятори, в обводнених – фарфорові горішкові ізолятори. Для натягу дротових відтяжок використовуються натяжні муфти 5 (з ходом 100 мм) в одній з відтяжок.

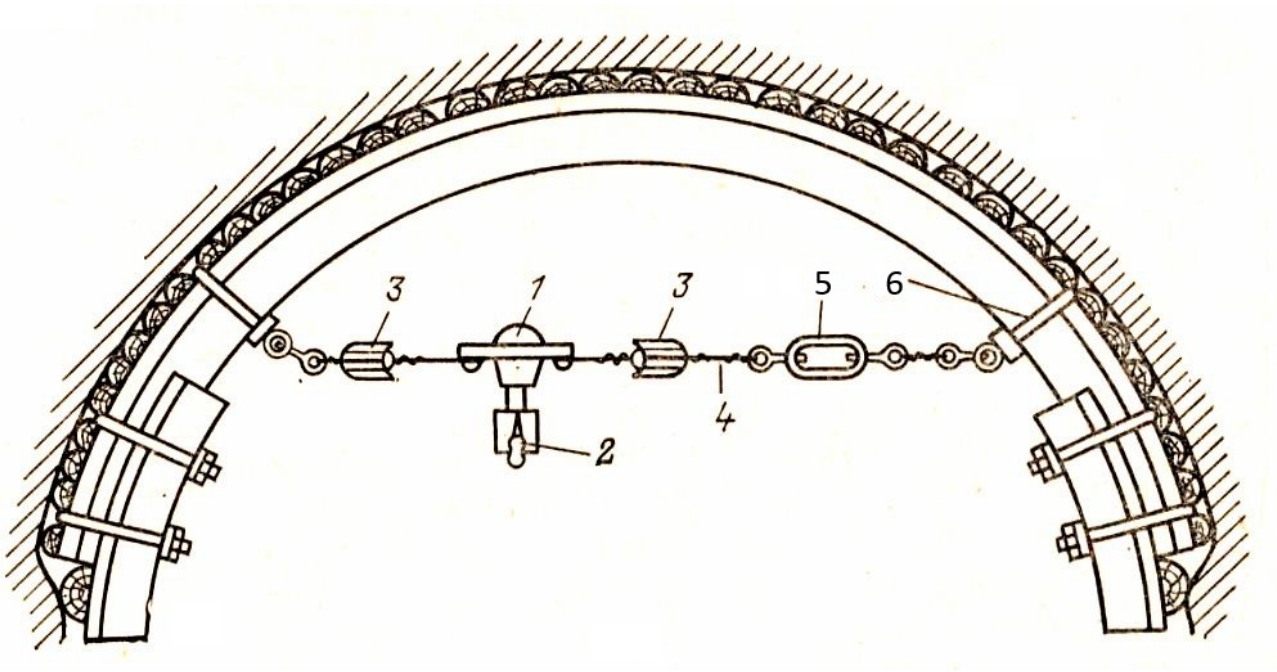



Рис. 17.2. Гнучкий спосіб підвішування контактного проводу: 1 – підвіс; 2 – контактний провід; 3 – ізолятор; 4 – відтяжка; 5 – натяжна муфта; 6 – хомут

Гнучкий спосіб підвішування покращує зняття струму, на нього менше впливає коливання висоти виробки. Тому використовують в основному гнучкий спосіб підвішування.

Контактний провід підвішується зигзагоподібно, щоб робоча частина струмоприймача електровоза зношувалась по можливості рівномірно. Висота підвішування контактного проводу залежить від призначення виробки, в якій він прокладається і коливається в межах 1,8-2,2 м.

Для створення необхідної провідності рейкового кола на стиках рейки з'єднуються між собою за допомогою перемичок із мідного (не менше 50 мм$^2$) або сталевого провідника (не менше 350 мм$^2$). Через кожні 50 м всі нитки рейок з'єднуються поперечними перемикачами, що приварюються до підошви рейок.

В якості живлячих та відсмоктуючих кабелів використовують броньовані одножильні кабелі з перерізом 70-300 мм$^2$.

На шахтах використовуються дві системи електропостачання тягових мереж:

- централізована, при якій тягова мережа горизонту живиться від тягової підстанції, встановленої в навколостовбурному дворі, по одному чи декільком живлячим і відсмоктуючим кабелям (рис. 17.1);

- децентралізована, при якій протяжна тягова мережа горизонту розділена на ділянки, кожна з яких живиться від окремої тягової підстанції (рис. 17.3).

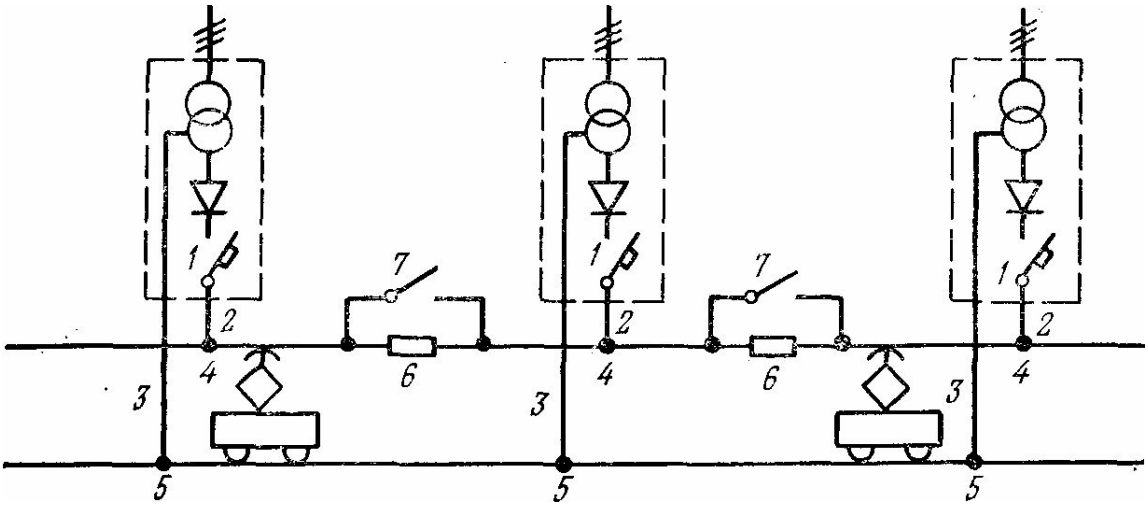



Рис. 17.3. Децентралізована схема живлення контактної мережі. Розшифровку позицій див. на рис. 17.1

Для зазначеної на рис. 17.1 схеми електропостачання підземної електровозної відкатки характерна наявність ділянок з однобічним живленням. В цьому випадку просто здійснюється захист тягової мережі від струмів КЗ, однак іноді ця схема не забезпечує нормального експлуатаційного режиму роботи транспорту. Особливо це відчутно при великій довжині відкатки і значному

тяговому навантаженню, коли падіння напруги в тяговій мережі досягає неприпустимих значень. Внаслідок надмірного падіння напруги зменшується швидкість руху, а, отже, і продуктивність відкатки. Поява значної різниці потенціалів в окремих точках рейкового кола призводить до зростання блукаючих струмів.

Як показують розрахунки, довжина ділянки при однобічному живленні, визначена за максимально припустимим падінням напруги в тяговій мережі (30% відповідно до практики проектування) при одночасній роботі трьох 10-тонних електровозів, не перевищує 1,5 км (перетин контактного проводу 100 мм$^2$, рейки РЗЗ). Подальше збільшення довжини і продуктивності відкатки вимагає розробки сучасних і більш потужних систем електропостачання підземних тягових мереж.

Найбільш актуальним вирішенням цієї проблеми є удосконалення систем електропостачання підземного електровозного транспорту при існуючій номінальній напрузі тягової мережі 275 В, тому що перехід на більш високу напругу на діючих шахтах пов'язаний з рядом серйозних труднощів, найбільш істотні з яких – створення більш ефективних пристроїв захисту від електротравматизму і пожеж.

При схемі децентралізованого електропостачання (рис. 17.3) можна здійснити двостороннє (роздільне чи паралельне) живлення ділянок контактної мережі.

При паралельному двосторонньому живленні довжина відкатки в 4 рази більше, ніж при однобічному живленні. Але двостороннє живлення контактної мережі від суміжних тягових підстанцій у вугільних шахтах заборонено (через ускладнення і здорожчання захисних пристроїв); ділянки мережі у випадку децентралізованого живлення повинні бути ізольовані одна від одної.

При децентралізації електропостачання підвищується надійність роботи відкатки внаслідок створення розосередженого резерву тягових агрегатів, а також зменшуються блукаючі струми і пов'язана з ними небезпека електрокоррозії. Слід зазначити, що при децентралізованому електропостачанні частину підстанцій – на

крилах шахти – можна виконувати пересувними. Однак основна тягова підстанція, що споруджується, як правило, в навколостовбурному дворі, на весь термін служби шахти повинна бути стаціонарною.

Впровадження схем децентралізованого живлення можливо тільки на основі автоматизованих напівпровідникових стаціонарних і пересувних тягових підстанцій, що забезпечують надійну роботу без постійного обслуговуючого персоналу.

Контактна мережа кар'єру в залежності від технологічного призначення залізничних колій поділяється на постійну, обмежено пересувну та пересувну.

На кар'єрному транспорті в залежності від найбільшої швидкості руху використовують наступні види підвіски контактного проводу: жорстку некомпенсовану – при швидкості до 20 км/год; просту некомпенсовану з сезонним регулюванням натягу – до 30 км/год; просту некомпенсовану – до 50 км/год; ланцюгову напівкомпенсовану з автоматичним регулюванням натягу контактного проводу – більше 50 км/год.

Жорстка некомпенсована підвіска використовується на пересувних коліях та на окремих дільницях постійних колій.

На стаціонарних коліях кар'єрів найбільшого поширення набула проста компенсована підвіска контактного проводу.

На одно-, двоколійних перегонах використовують консольні підвіски, які мають декілька варіантів конструктивних рішень. Найбільш удосконаленою є еластична підвіска контактного проводу на похилих неізольованих консолях, яка складається з консолі 1, тяги 2, ізолятора 3, струни 4, фіксатора 6 (рис. 17.4).

На станціях або багатоколійних перегонах використовують підвіски контактного проводу на гнучких або жорстких поперечинах. Ізоляцію основних вузлів постійної контактної мережі виконують високовольтними підвісними чи стрижневими ізоляторами. Для закріплення контактних проводів в горизонтальному положенні використовують фіксатори.

Підвішений контактний провід поділяється на анкерні перегони. При довжині анкерного перегону до 650 м один кінець контактного проводу кріпиться за допомогою автоматичної анкеровки (з натягом вантажем), другий – жорстко. При великих перегонах обидва кінці мають автоматичну анкеровку.

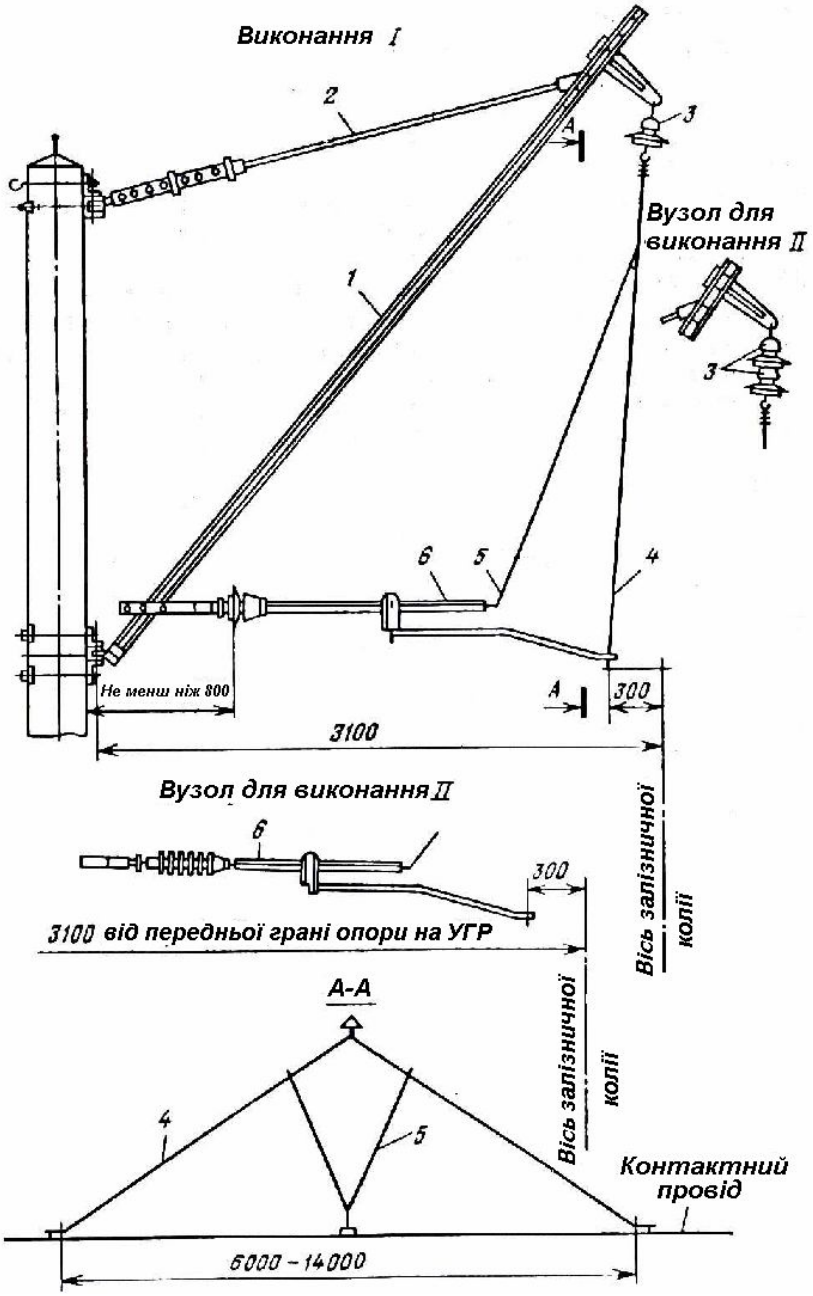



Рис. 17.4. Гнучка підвіска контактного проводу на похилих неізольованих консолях: Виконання I – при системі постійного струму напругою 1,5 кВ; виконання II – при системах постійного струму напругою 3,3 кВ та змінного струму напругою 10 кВ

Обмежено пересувну контактну мережу використовують на дільницях заїздів, на робочих горизонтах та на постійних коліях в кар'єрі за наявності тяжких скельних ґрунтів, де встановлення блочних фундаментів є ускладненим.

Пересувна контактна мережа на пересувних коліях кар'єра виконується з урахуванням способу пересування рейкової колії та типу екскаваторів, що використовуються (одноківшеві чи багатоківшеві).

## 17.2. Задачі тягового розрахунку

Електричний розрахунок тягової мережі полягає в розв'язанні однієї з двох задач:

- визначення необхідного перерізу контактних проводів при заданому падінні напруги та заданому типі рейок (як зворотному проводі);

- визначенні падіння напруги в окремих частинах і у всій лінії вцілому при заданих перерізі проводів і типі рейок.

Визначення падіння напруги в тяговій мережі становить значні труднощі. Вони обумовлені тим, що внаслідок переміщення поїздів та зміні струмів споживання доводиться оперувати змінним навантаженням як за величиною, так і за місцем їх прикладання. Через нестійкість навантаження падіння напруги в тяговій мережі характеризується миттєвими величинами, максимальними та середніми.

Миттєві – падіння напруги в кожний момент часу.

Максимальні – падіння напруги в умовах найбільш завантаженої роботи мережі, виключаючи аварійні випадки, імовірність яких при нормальній роботі електровозної відкатки мала. Максимальне падіння напруги має місце при пуску одного чи декількох електровозів одночасно.

Середнє падіння напруги характеризує середнє його значення за окремий проміжок часу.

Оскільки визначення середнього експлуатаційного падіння напруги в тяговій мережі є непростим, то його замінюють визначенням середнього сумарного падіння напруги для періоду найбільшого завантаження мережі.

Проектні організації приймають середнє розрахункове падіння напруги у межах 15-20% напруги на шинах постійного струму тягових підстанцій. Для максимального пікового навантаження при пуску електровозів в кінці контактної мережі допускається падіння напруги до 30-40%.

В більшості випадків перевірку мережі на максимальне пікове навантаження можна не робити, тому що мережа, розрахована по першій умові, другій звичайно задовольняє.

Величина опору одного кілометра контактної повітряної лінії:

$$r_k = \frac{1000 \cdot \rho}{K \cdot m \cdot F_k}, \qquad (17.1)$$

де $\rho$ – питомий опір, ом·мм$^2$/м; $m$ – кількість паралельних повітряних ниток контактного проводу; $F_k$ – переріз контактного проводу, мм$^2$; $K$ – коефіцієнт зношування контактного проводу, К =0,85.

Опір одного кілометра рейкового шляху:

$$r_p = \frac{1000 \cdot \rho_{cm} \cdot \sigma}{m \cdot F_p}, \qquad (17.2)$$

де $\rho_{ст}$=0,23 – питомий опір рейкової сталі, ом·мм$^2$/м; $\sigma$=1,2 – коефіцієнт, що враховує збільшення опору за рахунок наявності стиків; $m$ – кількість ниток рейкового шляху; $F$ – переріз рейки, мм$^2$.

Оскільки довідкових даних на рейки замість перерізу рейки наводиться значення погонної ваги 1 м рейки (р), то опір 1 км рейкового шляху можна записати:

$$r_p = \frac{1{,}8 \cdot \sigma}{m \cdot p}. \qquad (17.3)$$

Загальний опір 1 км. контактної мережі:

$$r_c = r_k + r_p. \qquad (17.4)$$

Після вибору елементів тягової мережі, в залежності від кількості робочих електровозів та конфігурації відкаточної мережі проводять орієнтовний вибір місця знаходження тягової підстанції, відсмоктуючих пунктів. Перед розрахунком контактної мережі за втратами напруги орієнтовно вибирають переріз контактного проводу, переріз живлячих та відсмоктуючих кабелів за допустимою щільність струму.

## 17.3. Методи розрахунку тягових мереж

Існують різні методи для визначення навантаження контактної мережі. Широко поширений метод перерізу графіку руху поїздів. Для графіку руху шляхом ряду перерізів знаходять найбільш тяжкий випадок розташування поїздів, наносять його на схему навантаження, встановлюють навантажуючі струми кожного поїзду та визначають сумарне падіння напруги по одну сторону від живлячого пункту до найбільш віддаленого поїзду.

Для розрахунку тягових мереж у шахтах найбільш часто застосовують метод аналізу роботи електровозів при перебуванні на секціонованій ділянці одного-п'яти електровозів. У цьому випадку розрахунок роблять виходячи з найбільш важких сполучень навантажень електровозів як за величиною, так і за місцем їхнього розташування (рис. 17.5). Такий метод розрахунку одержав назву методу розставлених навантажень, тому що він характеризується тим, що відповідно до плану відкаточних шляхів потяги розставляються в припущенні найбільш важкого випадку навантаження.

При виборі перерізу контактних і живлячих проводів необхідно керуватися наступними припустимими щільностями струму: для мідних контактних і голих багатодротових проводів 6-6,5 А/мм$^2$, для голих алюмінієвих проводів 3-3,5 А/мм$^2$. На ділянках контактної мережі, де струми досягають великих значень (понад 1000 А), необхідно підвішувати два контактних проводи перетином по 100 мм$^2$ і вище.

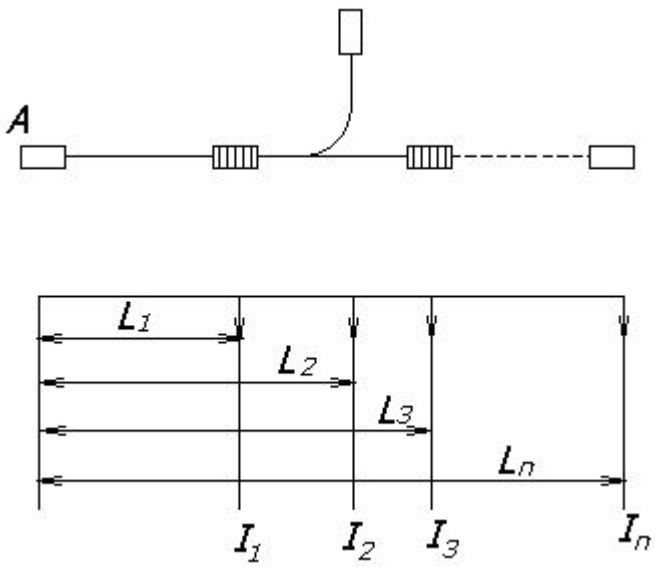



Рис. 17.5. План відкаточних шляхів з розстановкою поїздів для найбільш складного випадку навантаження

Навантажувальні струми електровозів, необхідні для складання схеми і подальшого розрахунку тягової мережі, знаходять за тяговим зусиллям, що діє на гаку електровоза, і струмом, що відповідає йому по характеристиці тягового двигуна.

Приблизно середній поїзний струм можна знайти на основі попереднього визначення витрати енергії на рух потяга. Значення пускового струму для одного тягового двигуна можна приблизно прийняти рівним паспортному струму годинного режиму.

Сумарне падіння напруги в тяговій мережі:

$$\sum \Delta U = \Delta U_к + \Delta U_р + \Delta U_п + \Delta U_о , \qquad (17.5)$$

де $\Delta U_к$, $\Delta U_р$, $\Delta U_п$, $\Delta U_о$ – падіння напруги (В) відповідно в контактній мережі, в рейках, у живлячій лінії, в відсмоктуючий лінії.

Падіння напруги в контактній мережі та рейках можна визначити як:

$$\Delta U_k = \sum I \cdot l \cdot r_k , \qquad (17.6)$$

$$\Delta U_p = \sum I \cdot l \cdot r_p , \qquad (17.7)$$

де $I$ – сила струму, А; $l$ – довжина контактної мережі, км.

Умови рудникової відкатки:

- наявність більш або менш постійного по величині ухилу на всьому відкаточному шляху;

- велика довжина та незначна швидкість руху;

- значна величина періоду сталого руху, дозволяють вести розрахунок контактної мережі по усталеним навантаженням електровозів.

В основі цього методу лежить принцип чергування завантажених та порожніх поїздів в зазначеній залежності з одними й тими ж усталеними навантаженнями електровозів. Так як вказані поїзда приводяться потім до кінця відкаточної ділянки, то метод називається методом приведених навантажень.

Для цього знаходять сумарне середнє падіння напруги до струмоприймача, найбільш віддаленого від тягової підстанції. Під періодом найбільшого навантаження мережі розуміють той випадок, коли всі електровози знаходяться в русі під робочим струмом (усталеним). При цьому приймають одностороннє живлення ділянок контактної мережі. Падіння напруги в тяговій мережі:

$$\Delta U = I_{ср} \cdot R_{по} \cdot N + r_c \cdot L \cdot I_{ср} \cdot N', \qquad (17.8)$$

де $N'$ – приведена кількість електровозів на ділянці; $N$ – кількість електровозів на ділянці; $R_{по}$ – опір живлячого та відсмоктуючого кабелів; $I_{ср}$ – середній струм поїзда; $L$ – довжина контактної мережі.

Приведена кількість електровозів на ділянці визначається як:

$$N' = \frac{N+1}{2}. \qquad (17.9)$$

Середній струм поїзда можна визначити з залежності:

$$I_{ср} = \frac{I_{пор} \cdot T_{пор} + I_{нав} \cdot T_{нав}}{T_{пор} + T_{нав}}, \qquad (17.10)$$

де $I_{нав}$, $I_{пор}$ – відповідно струм електровоза навантаженого та порожнього поїзда; $T_{нав}$, $T_{пор}$ – відповідно час руху навантаженого та порожнього поїзда.

Приблизно $I_{ср}$ можна визначити з залежності:

$$I_{ср} = \frac{I_{нав} + I_{пор}}{2}. \qquad (17.11)$$

Оскільки втрати напруги в живлячому та відсмоктуючому кабелі не перевищують 10%, то:

$$\Delta U = 1{,}1 \cdot r_c \cdot L \cdot I_{ср} \cdot N'. \qquad (17.12)$$

На кар'єрах схема мережі, коли живлячі та відсмоктуючі лінії підводяться від тягової підстанції до початку розрахункової дільниці, є найпростішою для розрахунку.

Більш складною для розрахунків є схема тягової мережі, коли за розрахунковою дільницею розташовані інші дільниці мережі, а відсмоктуючий пункт знаходиться на суміжній дільниці на деякій відстані від розрахункової дільниці (рис. 17.6).

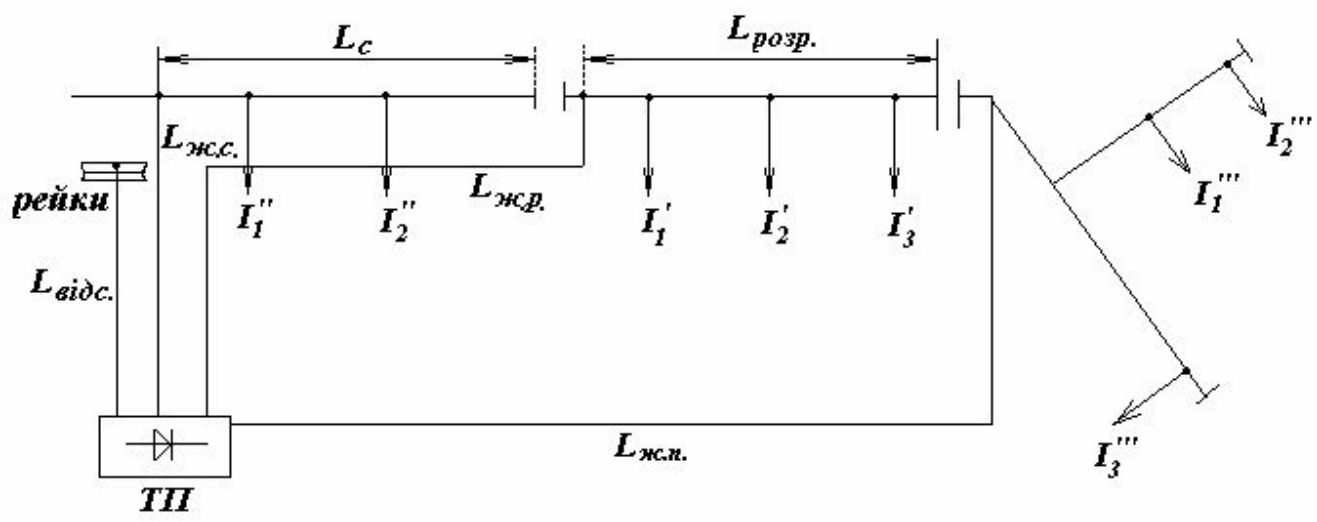



Рис. 17.6. Розрахункова схема тягової мережі на кар'єрі

Визначення загального падіння напруги на розрахунковій дільниці при подібній схемі має значні складності, тому що падіння напруги в тяговій мережі обумовлено не тільки навантаженням розрахункової дільниці але також і навантаженням суміжних дільниць з обох сторін від розрахункової дільниці:

$$\Delta U = \Delta U_{кр} + \Delta U'_{р} + \Delta U''_{р} + \Delta U'''_{р} + \Delta U_{ж} + \Delta U_{в}, \qquad (17.13)$$

де $\Delta U_{кр}$ – втрати напруги в контактній мережі розрахункової дільниці; $\Delta U'_{р}$, $\Delta U''_{р}$, $\Delta U'''_{р}$ – відповідно падіння напруги в рейковому колі обумовлені навантаженням розрахункової, наступної та суміжної дільниць; $\Delta U_{ж}$ – втрати напруги в живлячій лінії; $\Delta U_{в}$ – втрати напруги в відсмоктуючій лінії.

Окремі складові падіння напруги визначаються як:

$$\Delta U_{кр} = r_k \cdot \sum I'_i \cdot l_i \,, \tag{17.14}$$

$$\Delta U'_{р} = r_p \cdot \sum I'_i \cdot l_i \,, \tag{17.15}$$

$$\Delta U''_{р} = \sum I''' \cdot r_p \cdot K_n \cdot l_p \,, \tag{17.16}$$

$$\Delta U'''_{р} = \sum I' \cdot r_c \cdot l_c + \sum I'' \cdot r_p \cdot K_n \cdot l_c + \sum I''_c \cdot r_p \cdot K_n \cdot \frac{l_c}{2} \,, \tag{17.17}$$

де $K_n$ – коефіцієнт попиту; $\sum I'_i \cdot l_i$ – сума моментів струмів на розрахунковій дільниці; $\sum I'$ – сума струмів розрахункової ділянки; $\sum I''$ – сума струмів (наступної) $\sum I'''$ – сума струмів суміжної ділянки; $l_p$ – струм в рейковому колі; $l_c$ – середня довжина лінії.

## 17.4. Визначення робочих характеристик зарядної підстанції

Кількість зарядних агрегатів визначається кількістю батарей, що одночасно заряджаються, та способом їх зарядки (індивідуальний чи груповий).

В загальному випадку кількість акумуляторних батарей, необхідних для забезпечення електровозів протягом доби:

$$m_n = \frac{t_з \cdot N}{t_p} \,, \tag{17.18}$$

де $t_з$ – загальна кількість годин роботи електровоза на добу; $N$ – кількість робочих електровозів; $t_p$ – час розряду батареї.

Кількість робочих циклів батареї:

$$Z = \frac{t_з}{t_р + t_{зар}}, \qquad (17.19)$$

де $t_{зар}$ – час заряду батареї.

Тоді кількість робочих батарей:

$$m = \frac{m_n}{Z} = N\left(1 + \frac{t_{зар}}{t_р}\right). \qquad (17.20)$$

Якщо ємність акумуляторної батареї забезпечує роботу електровоза протягом зміни та час заряджання батареї дорівнює тривалості зміни, то на кожний електровоз приймають дві батареї: одна знаходиться на електровозі, інша – на зарядному столі. Тобто, загальна кількість акумуляторних батарей (з урахуванням крім робочих також резервних електровозів):

$$m_з = 2N_i, \qquad (17.21)$$

де $N_i$ – інвентарна кількість електровозів.

Тоді кількість батарей ($m_{о.з.}$), що одночасно заряджаються, та кількість робочих столів ($n_{р.с.}$):

$$m_{о.з.} = n_{р.с.} = N_i. \qquad (17.22)$$

Якщо ж час заряджання батареї дещо більше тривалості зміни, то приймають загальну кількість батарей

$$m_з = 2{,}5N_i. \qquad (17.23)$$

В цьому випадку

$$m_{о.з.} = n_{р.с.} = m_з - N_i. \qquad (17.24)$$

Загальна кількість зарядних столів з урахуванням додаткових обмінних ($n_{о.б.}$)та ремонтних ($n_{рем.}$)столів

$$n_з = n_{р.с.} + n_{о.б.} + n_{рем.}. \qquad (17.25)$$

При $N_i \le 10$ приймають $n_{о.б.} = n_{рем.} = 1$, при $N_i > 10$ приймають $n_{о.б.} = n_{рем.} = 2$.

Кількість робочих зарядних пристроїв при індивідуальному способі заряджання:

$$M = m_{\text{о.з.}}. \tag{17.26}$$

Інвентарна кількість зарядних пристроїв з урахуванням 10% резервних пристроїв $M_{\text{рез.}}$:

$$M_i = M + M_{\text{рез.}}. \tag{17.27}$$

За умови зручності виконання кабельної мережі в зарядній камері, інвентарну кількість зарядних пристроїв приймають рівною загальній кількості зарядних столів

$$M_i = n_{\text{з}}. \tag{17.28}$$

При виборі потужності трансформаторів зарядної підстанції враховують, що зарядні пристрої мають довготривалий характер навантаження, яке плавно підвищується в процесі заряджання і залишається практично незмінним протягом двох останніх годин. Крім того, кінець заряджання практично більшості батарей припадає на кінець зміни, що призводить до появи максимуму навантаження на кінець зміни.

Потужність трансформаторів живлення зарядних пристроїв може бути визначена як:

$$S_{тр} = \frac{k_o M P_{вн}}{\eta_в \cos\varphi}, \tag{17.29}$$

де $M$, $P_{вн}$, $\eta_в$, $\cos\varphi$ – відповідно кількість, номінальна потужність, ККД і коефіцієнт потужності випрямляючого пристрою ($\eta_в$=0,85; $\cos\varphi$=0,8); $k_o$ – коефіцієнт одночасності, рівний 0,85-0,9.

Для обслуговування акумуляторних батарей зарядні камери забезпечуються промивними машинами, заливальними апаратами і спеціальними розрядними пристроями. Устаткування зарядних камер повинне бути вибухобезпечним чи підвищеної надійності.

## 17.5. Визначення потужності тягових підстанцій.

Потужність та кількість агрегатів тягової підстанції вибирають на основі розрахунку сумарного навантаження, що створюється електровозами. Графік навантаження тягової підстанції є різко нерівномірним і має пікові навантаження, що значно перевищують середні значення.

Основними параметрами тягових агрегатів є номінальна напруга, струм та потужність, а також допустимі перевантаження. Тому тяговий агрегат вибирають за довготривалим навантаженням та перевіряють на перевантаження.

Робочу потужність тягової підстанції шахти чи рудника можна визначити за формулою

$$P = k_o U I_{\text{ср}} N \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \qquad (17.30)$$

де $k_o$ – емпіричний коефіцієнт одночасної роботи електровозів; $U$ – напруга на шинах тягової підстанції, В; $N$ – число робочих електровозів, що одержують живлення від даної підстанції; $I_{\text{ср}}$ – середній струм поїзда, А.

Вибраний тяговий агрегат необхідно перевірити на допустиме перевантаження. Максимальне навантаження вибирають з розрахунку, що частина електровозів мають стале тривале навантаження, а частина електровозів знаходиться в пусковому режимі.

При кількості електровозів N до двох приймають, що електровози знаходяться в пусковому режимі, тобто

$$P_{\max} = U I_{\text{пуск}} N \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \qquad (17.31)$$

де $I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм електровоза, А.

При більшій кількості електровозів приймають, що 2/3 електровозів знаходяться в пусковому режимі. Тоді

$$P = k_o U N \left( I_{\text{ср}} + 2 I_{\text{пуск}} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}. \qquad (17.32)$$

Розрахунок потужності тягових підстанцій постійного струму на кар’єрах може виконуватись за трьома методами: коефіцієнту попиту; середньодобовою

потужністю одного працюючого електровозу; очікуваними витратами електроенергії на електровозну тягу на один рейс.

За методом коефіцієнта попиту потужність тягової підстанції

$$P_д = P_{ел} k_n N \text{, кВт,} \qquad (17.33)$$

де $P_{ел}$ – годинна потужність електровоза, кВт; $N$ – кількість робочих електровозів; $k_n$ – коефіцієнт, що приймається в залежності від кількості працюючих електровозів (рис. 7.18).

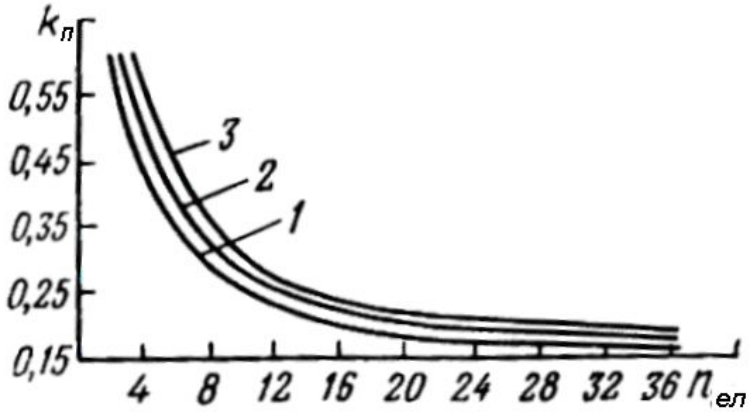



Рис. 17.7. Залежність коефіцієнту попиту $k_п$ від кількості працюючих електровозів $п_{ел}$: 1 – глибина розробки 150 м; 2 – глибина розробки 250 м; 3 - глибина розробки 350 м

За методом середньодобового навантаження електровоза потужність тягової підстанції

$$P_д = \left( \frac{P_{ел} N}{k_m} + P_{ел.ср} N \right) k_в \text{, кВт,} \qquad (17.34)$$

де $k_m$ – коефіцієнт, що визначає кількість електровозів, які знаходяться в важкому режимі роботи (при середній глибині вивезення гірничої маси 50, 100, 150, 200 та 300 м $k_m$ приймається відповідно 10, 8, 6 та 5); $k_в$ – для кремнієвих випрямлячів $k_в$ =1; $P_{ел.ср}$ – середньодобове годинне навантаження одного електровоза.

Величина $P_{ел.ср}$ визначається як:

$$P_{ел.ср} = \frac{W_р}{T_р} \cdot N, \qquad (17.35)$$

де $W_р$ – річні витрати електроенергії на шинах тягової підстанції, кВт*год; $T_р$ – річна кількість годин роботи транспорту.

За методом очікуваних витрат енергії на електровозну тягу повні витрати електроенергії за один рейс $W_{рс}$ визначається аналітично з урахуванням багатьох факторів та параметрів відкатки. Тоді питомі витрати електроенергії за рейс складають

$$\omega = \frac{W_{рс}}{Q_Н} K_{енс}, \qquad (17.36)$$

де $Q_Н$ – маса нетто поїзда, т; $K_{енс}$ – коефіцієнт сезонності, що впливає на підвищення питомих витрат електроенергії в зимовий період, приймають 1,15-1,17.

Середній струм підстанції в найбільш інтенсивний період роботи транспорту

$$I_{ср.п} = \frac{W_{рс} \cdot N_л}{1{,}1 U_т t_{ср.р}}, \qquad (17.37)$$

де $N_л$ – максимальна кількість електровозів, що одночасно знаходяться в зоні живлення; $U_т$ – напруга тягової мережі, кВ; $t_{ср.р}$ – середня тривалість рейсу, год.

Ефективне (середньоквадратичне) значення струму

$$I_{еф} = I_{ср.р} \cdot k_{еф}, \qquad (17.38)$$

де коефіцієнт ефективності

$$k_{еф} = \sqrt{1 + \left(\frac{k_ф}{k_в} - 1\right)\frac{1}{N_л}}, \qquad (17.39)$$

$k_ф$=1,12 – коефіцієнт форми струму електровоза за час споживання ним електричної енергії; $k_в$ – коефіцієнт увімкнення тягових двигунів протягом

середнього рейсу; $N_л$ – максимальна кількість електровозів, що одночасно знаходяться в зоні живлення.

Перетворювальний агрегат вибирається за ефективним струмом.

Методики розрахунку потужності тягових підстанцій змінного струму аналогічна вищенаведеній і передбачає визначення очікуваних витрат електроенергії на електровозну тягу. На першому етапі встановлюються активні складові середнього струму фаз А і С, при цьому коефіцієнт форми для синусоїдальної напруги $K_{ф.с.н.}=1,12$. З урахуванням коефіцієнта ефективності $К_{еф}$, що розраховується за (17.39), для кожної робочої фази роздільно встановлюються активні складові ефективного струму фаз А та С, після чого визначають повні струми цих фаз.

Потужність тягових трифазних трансформаторів

$$S_{розр} = (2I' + 0,65I'')1,1U_c \frac{\cos\varphi_{ел}}{\cos\varphi_c} k_{сп.п}, \qquad (17.40)$$

де $I'$ – струм найбільш завантаженої фази, А; $I''$ – струм найменш завантаженої фази, А; $\cos\varphi_с$ – коефіцієнт потужності системи; $\cos\varphi_{ел}$ – коефіцієнт потужності електровоза; $k_{сп.п}$ – коефіцієнт власних потреб підстанції; $U_c$ – напруга трансформатора.

Робочу потужність тягових трансформаторів при електрифікації транспорту на однофазному змінному струмі можна з допустимою похибкою визначити за спрощеною залежністю

$$S_п = \frac{2,5P_р}{\cos\varphi} \qquad (17.41)$$

де $Р_р$ – робоча потужність тягової підстанції при постійному струмі; $\cos\varphi = 0,8 \div 0,85$.

## Контрольні запитання

*1. Яка конструкція тягової мережі електровозної відкатки?*

*2. З яких елементів складаються тягові акумулятори та акумуляторні батареї?*

*3. Як виконується розрахунок тягових мереж?*

*4. Як визначити кількість зарядних агрегатів?*

*5. Як визначити потужність тягової підстанції?*

# ЛЕКЦІЯ 18. Системи електропостачання промислових підприємств

18.1. Вимоги до СЕП та принципи їх формування.

18.2. Схеми зовнішнього електропостачання.

18.3. Вибір напруги живлення підприємства електричною енергією.

18.4. Розподіл електроенергії на промислових майда1нчиках геотехнічних підприємств.

18.5.Схеми електропостачання стаціонарних електроспоживачів.

18.5.1. Електропостачання підйомних установок.

18.5.2. Електропостачання вентиляторних установок.

18.5.3. Електропостачання компресорних установок.

18.5.4. Електропостачання калориферних та холодильних установок.

## 18.1. Вимоги до СЕП та принципи їх формування

Головними вимогами до систем електропостачання будь-якого промислового підприємства є:

- забезпечення високої якості електроенергії, тобто нормованих значень напруги та частоти і їх відхилень на затискачах споживачів;

- забезпечення потрібної підприємству кількості електроенергії та необхідної надійності електропостачання;

- економічність роботи та безпека всіх елементів СЕП, їх зручність в експлуатації.

Однією з основних характеристик СЕП є надійність, яка визначає економічну ефективність як самої СЕП, так і технологічного процесу, який вона обслуговує. Що стосується СЕП, то під її надійністю розуміють здатність забезпечення приймачів електроенергією заданою кількістю в межах допустимих показників її якості. Сама надійність СЕП також є одним з показників її якості.

Але цей показник суттєво відрізняється від інших, тому що, якщо система не відповідає необхідному ступеню надійності, то всі інші показники якості втрачають своє практичне значення, оскільки не можуть бути використані повністю в експлуатації.

В умовах напруженого енергетичного балансу цілі енергопостачальної організації (ЕС) та промислового підприємства часто стають конфліктними. ЕС намагається забезпечити свою стійкість за рахунок введення обмежень потужності в період максимуму її навантаження, а в передаварійній ситуації – ще й обмежень споживання електроенергії. При цьому підприємства змушені вимикати частину своїх електроприймачів.

Всі обмеження в електропостачанні можна розділити на чотири види.

Перший вид обмежень відноситься до неминучих, економічно недоцільних, що обумовлені фізичними відмовами елементів системи електропостачання.

Другий вид обмежень – економічно доцільні, обумовлені нерівномірністю добових графіків електричного навантаження енергосистеми. Економічна доцільність таких обмежень визначається зниженням заявленої потужності підприємством і відповідної оплати за електроенергію.

Третій вид обмежень відноситься до економічно недоцільних, що викликані недостатністю генеруючих потужностей в енергосистемі в результаті різного впливу на енергосистему, або її стану. Причинами такого впливу можуть бути: системні аварії, дефіцит генеруючих потужностей, стихійні лиха тощо.

Четвертий вид обмежень відноситься до недоцільних повних, або дуже значних і тривалих. Вони можуть з’являтись в основному в результаті розв’язання війн або в особливо екстремальних ситуаціях, спричинених землетрусом, паводком тощо.

При вирішенні питань обмеження електропостачання гірничих підприємств необхідно приймати до уваги характер технологічного процесу, можливість виникнення аварій, нещасних випадків, втрату дієздатності підприємства та інших явищ при повному відключенні підприємства від енергосистеми. Тому ряд

електроспоживачів повинні мати можливість роботи при обмеженнях в електропостачанні, тобто гірниче підприємство повинно мати аварійну броню.

Взагалі потужність аварійної броні є дискретно зростаюча в часі функція. Менше значення потужності аварійної броні, ніж цього вимагають технічні та технологічні умови, веде до збитку виробництва. Значення потужності аварійної броні залежить від тривалості повного обмеження централізованого електропостачання. Для другого та третього видів обмежень потужність аварійної броні загалом складається з потужності водовідливу та вентилятора, а для четвертого виду обмеження додатково необхідно приймати до уваги потужність електроприймачів технологічного процесу добування корисної копалини та доставки її на поверхню.

Для забезпечення потужності аварійної броні при четвертому типі обмеження електропостачання слід мати автономне джерело електропостачання та проводити активне регулювання режиму електроспоживання, вирівнюючи графік навантаження цього джерела.

Вимоги до електропостачання підприємства загалом залежать від потужності, яку воно споживає, існуючої технології виробництва та вимог до надійності електропостачання окремих споживачів. Більшість сучасних гірничих підприємств відносяться до середніх та великих електроспоживачів. Для таких підприємств найбільш економічною та надійною є система глибоких вводів, за якої мережі напруги 35-220 кВ максимально наближаються до споживачів, часто підстанції “глибокого вводу” будуються на території підприємства. При цьому приймаються до уваги особливості даного підприємства, наявність зон з агресивним середовищем, режими роботи окремих споживачів, їх категорійність за надійністю живлення електроенергією.

СЕП повинна будуватися таким чином, щоб всі її елементи знаходилися під навантаженням. “Холодний” резерв в лініях та трансформаторах не допускається. При такому режимі роботи зменшуються втрати електроенергії та підвищується

надійність тому, що “холодний” резервний елемент може при ввімкненні під навантаження відмовити внаслідок вчасно не помічених несправностей.

Для правильного вирішення питань надійності електропостачання необхідно чітко розрізнять аварійний та післяаварійний режими. Під аварійним режимом розуміють короткочасний перехідний режим, спричинений порушенням нормального режиму системи чи її окремих ланок і триваючий до вимкнення пошкодженої ланки релейним захистом.

Під післяаварійним режимом слід розуміти режим, що виникає після вимкнення пошкоджених елементів. Він продовжується до відновлення нормальних умов роботи. При цьому використовується так званий “прихований” резерв схеми електропостачання. СЕП в післяаварійному режимі повинна бути в змозі прийняти на себе навантаження елементів, що тимчасово вибули, шляхом перерозподілу його між частинами мережі, що залишилися в роботі, з використанням перевантажувальних властивостей обладнання. В цей період можуть використовуватися всі можливості резервування, навіть ті, що при нормальному режимі є нерентабельними (різні перемички зв’язку на вторинній напрузі та ін.) В післяаварійному режимі допустиме часткове обмеження потужності, можливі короткочасні перерви живлення споживачів третьої та частково другої категорій, дозволяється відступити від нормальних рівнів, відхилень та коливань напруги і частоти.

Для гірничих підприємств, що мають значну кількість споживачів першої та другої категорій обов’язковим є наявність двох вводів живлення.

Надійність електропостачання в СЕП повинна підвищуватися при наближенні до джерела живлення (ГПП) та в міру зростання потужності відповідних ланок, оскільки аварії в потужних ланках приводять до більш тяжких наслідків і охоплюють більшу зону підприємства.

В СЕП застосовують глибоке секціювання всіх ланок електрообладнання. На секційних апаратах при необхідності передбачається автоматичне введення резерву (АВР).

При проектуванні СЕП слід, як правило, виходити з роздільної роботи ліній та трансформаторів, тому що при цьому знижуються струми короткого замикання, спрощуються та здешевлюються схеми комутації та релейного захисту.

Необхідно намагатися використовувати розукрупнення вузлів живлення (ГПП, РП), будуючи декілька ГПП, РП на підприємстві, наближаючи їх до споживачів. Для потужних споживачів доцільно використовувати блоки: лінія-трансформатор; лінія-двигун.

Живлення електроприймачів паралельних технологічних потоків слід здійснювати від різних підстанцій, РП, магістралей або від різних секцій шин однієї підстанції. Всі взаємопов'язані технологічні агрегати одного потоку доцільно живити від однієї секції шин, одного РП, магістралі і т.п.

Оскільки мережі та підстанції входять в єдиний комплекс підприємства на рівних з іншими виробничими спорудами, то вони повинні ув'язуватись з будівельною та технологічною частинами і генеральним планом підприємства. Схеми електропостачання повинні забезпечувати можливість зростання навантажень на найближчі 10 років.

При проектуванні СЕП слід передбачати раціональні заходи з оптимізації електроспоживання та вирівнювання графіка навантаження. Разом з технологами на час максимуму навантаження в енергосистемі необхідно шукати споживачі-регулятори для можливого їх вибіркового вимкнення в розумних межах технічної та економічної доцільності.

В СЕП підприємств бажано прагнути до максимально можливої уніфікації схемних та конструктивних рішень електричної частини як на підприємстві, що проектується, так і на всіх гірничих і інших підприємствах даного територіально-промислового комплексу. В цьому випадку можна об'єднати трансформаторно-масляне господарство, мати загальне для всіх підприємств резервування потужного електрообладнання та ін.

## 18.2. Схеми зовнішнього електропостачання

Електропостачання гірничих підприємств проводиться від: енергетичних систем, автономних джерел живлення, а також від власних електростанцій, зв'язаних з енергосистемою. Головним джерелом живлення гірничих підприємств є районні мережі енергетичних систем, потужність яких в десятки-сотні разів перевищує електричні навантаження окремих підприємств. Від автономних теплових енергостанцій чи пересувних дизель-електростанцій можуть живитися підприємства невеликої потужності, які розташовані в місцях, віддалених від ЛЕП енергосистеми.

Деякі гірничі підприємства за своєю технологією мають значне споживання теплової енергії, що спонукає мати на підприємстві власні теплові електростанції з одночасним виробництвом теплової та електричної енергій. Вони зв'язані з енергетичними системами також за допомогою ЛЕП.

Для гірничих підприємств прийнято розрізняти схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Під зовнішнім електропостачанням розуміють комплекс споруд, що забезпечують передачу енергії від вибраної точки приєднання в енергосистемі до прийомних підстанцій підприємства. Тобто до нього відносять комірки приєднання на підстанції енергосистеми (ПЕС), ЛЕП незалежно від напруги, що здійснюють живлення підстанцій гірничого підприємства та сама ця підстанція до шин вторинної напруги. Якщо підприємство одержує електроенергію через групову підстанцію, то до зовнішнього електропостачання відносять комірки приєднання від ПЕС, ЛЕП, що живлять групову підстанцію від ПЕС, сама групова підстанція, ЛЕП, що живлять електропідстанцію підприємства від групової та підстанція підприємства до шин вторинної напруги.

При живленні електроенергією сучасних гірничих підприємств широко використовують схеми глибокого вводу. Глибоким вводом називають систему електропостачання з максимальним наближенням вищої напруги до

електроустановок підприємства з найменшою кількістю ступенів проміжної трансформації, тобто це лінії напругою 35…220 кВ, що проходять через територію підприємства з відпайками від них до найбільш крупних пунктів споживання електроенергії.

Система глибокого вводу та розукрупнення підстанцій має наступні позитивні якості:

а) скорочуються розподільчі мережі напругою 6, 10 кВ і відповідно зменшуються втрати електроенергії та витрати кольорових металів;

б) спрощені підстанції на 35…220 кВ виконуються без вимикачів на первинній стороні;

в) підвищується надійність електропостачання у зв'язку з суттєвим скороченням зони аварії та зменшенням імовірності помилкових перемикань;

г) зменшуються робочі струми та струми КЗ на вторинній напрузі тому що потужність трансформаторів менша, ніж на крупних ГПП;

д) підвищується якість напруги на затискачах споживачів.

Важливе значення мають технічні умови на приєднання до енергосистеми, в яких вказуються точки приєднання, напруга живлення ЛЕП, очікуваний рівень напруги в точках приєднання, розрахункові значення струмів КЗ, вимоги до релейного захисту, автоматики, до обліку електроенергії, компенсації реактивної потужності, регулювання добового графіка навантаження, даються обгрунтування необхідності підсилення ЛЕП та ін.

При виборі конструктивних варіантів схем зовнішнього електропостачання розгляд економічних і технічних питань електропостачання повинно знаходитися в тісному зв'язку з найбільш важливим для геотехнічних підприємств питанням безперебійності живлення електроенергією у відповідності з категорією електроспоживачів.

З великої різноманітності схем для живлення геотехнічних підприємств можуть бути виділені основні варіанти:

1. Схеми радіального живлення без трансформаторів в кінці лінії приймаються для електропостачання невеликих геотехнічних підприємств (з навантаженням до 2000 кВт), що знаходяться на віддалені 1.5-2 км від ПЕС. Підприємства з невеликою кількістю споживачів, переважно, третьої категорії можуть живитися одною ЛЕП (рис. 18.1, а), а за наявності споживачів першої та другої категорій, які вимагають наявності резерву в живленні електроенергією – двома ЛЕП з секціями збірних шин ГПП (РП) за допомогою міжсекційного вимикача (рис. 18.1, б). Живлення геотехнічного підприємства по ЛЕП 6 кВ може виконуватися також від підстанцій інших підприємств, що мають ПГВ або групову підстанцію (рис. 18.1, в). Недолік цих схем – ускладнений пуск потужних двигунів 6 кВ.

2. Схеми глибокого вводу 35-220 кВ радіальними лініями без вимикачів (з вимикачами) на стороні вищої напруги ГПП передбачають трансформацію в місці переходу від схеми зовнішнього електропостачання до схеми внутрішнього.

Малі, але віддалені підприємства зі споживачами переважно третьої категорії можуть живитися від енергосистеми однією ЛЕП (рис. 18.1, г). Але переважна більшість геотехнічних підприємств живиться електроенергією по двох ЛЕП без вимикачів на первинній напрузі ПГВ з двома секціями шин 6 кВ ГПП (рис. 18.1, д). Схеми без вимикачів на первинній напрузі є економічними і достатньо надійними в експлуатації. Однак їх використання можливе, коли операції вмикання та вимикання трансформатора не проводяться щоденно, а також якщо зовнішнє середовище сприяє нормальній роботі відокремлювачів та короткозамикачів. Схеми з вимикачами на первинній напрузі можуть прийматися при значному запиленні повітря, в разі ускладненого самозапуску (дозапуску) потужних споживачів (наприклад, екскаваторів) після спрацювання АПВ, або коли вона має двобічне живлення (рис. 18.2, а).

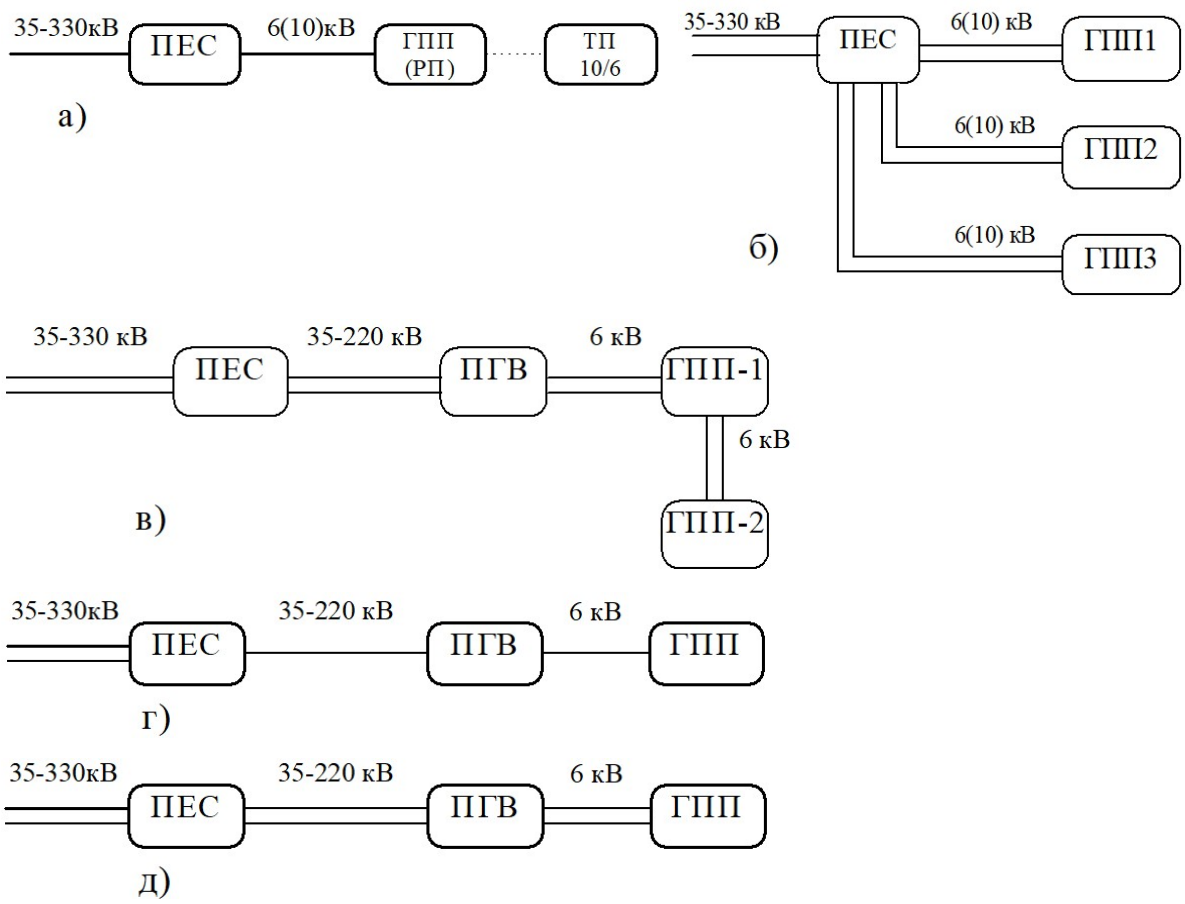



Рис. 18.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання: а) підприємство третьої категорії з живленням від однієї ЛЕП; б) підприємство першої або другої категорії з живленням від двох ЛЕП; в) живлення від ПГВ іншого підприємства; г) віддалене підприємство третьої категорії з живленням від однієї ЛЕП; д) живлення геотехнічного підприємства двома ЛЕП. Літерами позначено: ПЕС – підстанція енергосистеми; ГПП – головна понижувальна підстанція; ПГВ – підстанція глибокого вводу; ТП – трансформаторна підстанція; РП – розподільчий пункт

3. Схеми глибокого вводу з виконанням групової підстанції, коли підстанція (сумісна) енергосистеми розміщується на промисловому майданчику (або поряд з ним) гірничого підприємства, а від неї живиться кілька підприємств (рис. 18.2, б). По аналогічній схемі можуть живитися великі геотехнічні підприємства (наприклад, кар’єри), коли на груповій підстанції встановлюються триобмоткові трансформатори з напругою 220-110/35/6 кВ (рис. 18.2, в). Від цієї підстанції, напругою 6 кВ, живляться близько розташовані споживачі, а більш віддалені групи споживачів, чи окремі потужні споживачі (наприклад потужні драглайни,

роторні екскаватори) живляться напругою 35 кВ. З цією груповою підстанцією можуть суміщувати тягову підстанцію підприємства.

4. При розміщенні геотехнічних підприємств в одному напрямку від районної підстанції енергосистеми підприємства можуть живитися за магістральною схемою (рис. 18.2, г). Кількість підстанцій глибокого вводу, що живляться від однієї ЛЕП не більше 2…3. За магістральною схемою часто живляться також кілька ПГВ, що живлять центри навантаження одного підприємства.

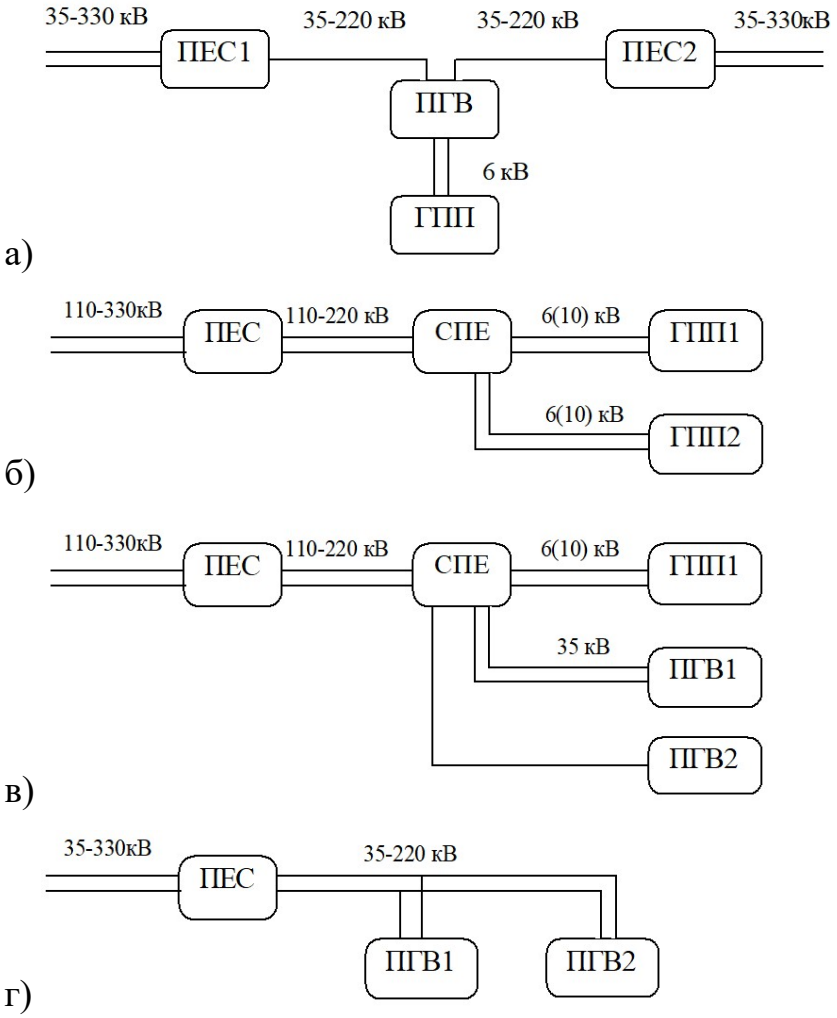



Рис. 18.2. Варіанти схем зовнішнього електропостачання (продовження): а) двобічне живлення підприємства; б) схема глибокого вводу з груповою підстанцією; в) схема глибокого вводу з триобмотковим трансформатором на груповій підстанції; г) магістральна схема. Літерами позначено: ПЕС – підстанція енергосистеми; СПЕ – сумісна підстанція енергосистеми; ГПП – головна понижувальна підстанція; ПГВ – підстанція глибокого вводу

Згідно з нормативними вимогами геотехнічні підприємства, що мають значну кількість споживачів першої та другої категорій, мають живитися за допомогою не менше двох ЛЕП незалежно від напруги. Для нормального режиму характерною є роздільна робота ЛЕП. Всі ЛЕП повинні знаходитися під навантаженням.

Живлячі ЛЕП напругою 35…330 кВ виконуються у вигляді одно- чи дволанцюгових ліній на металевих, залізобетонних або дерев'яних опорах. Перевагу слід віддавати дволанцюговим ЛЕП на опорах, що розраховані на підвищені вітрові навантаження та від ожеледиці (на ступінь вище нормативу). Дві одноланцюгові лінії необхідно приймати для електропостачання шахт:

- віднесених до 3 категорії та зверхкатегорійних за метаном і небезпечних раптовими викидами;
- розташованих в 4 і особливому районах за ожеледицею;
- з годинним припливом води більш 300 $м^3$.

Довжина ЛЕП в більшості випадків не перевищує 20 км при напрузі 35 кВ і може перевищувати 50 км при більш високих напругах. ЛЕП частіше всього виконуються сталеалюмінієвими проводами АС з перерізом 95-185 $мм^2$. Лінії 6 кВ, як правило, мають невелику довжину, можуть виконуватись голими мідними або алюмінієвими проводами з перерізом до 3х500 $мм^2$ на фазу у вигляді шинопроводів, а також броньованими кабелями з перерізом 120-185 $мм^2$, при кількості вводів на ГПП від двох до чотирьох, та кількості паралельно прокладених кабелів в кожній лінії до трьох.

## 18.3. Вибір напруги живлення підприємства електричною енергією

Економічність системи зовнішнього електропостачання гірничого підприємства багато в чому визначається величиною напруги живлячих ЛЕП та обгрунтованим вибором місця розташування понижуючих підстанцій. Вибір

напруги живлення підприємства залежить від ряду факторів: відстані до ЛЕП чи ПЕС; напруги, потужності та завантаження трансформаторів ПЕС; можливості розширення розподільчого пристрою ПЕС; загальної потужності підприємства, напруги його головних споживачів та розподілу електроенергії в межах підприємства та інших. Таким чином, вибір оптимальної напруги тісно пов'язаний з вибором раціональної схеми зовнішнього електропостачання.

В системах електропостачання геотехнічних підприємств використовують трифазний струм напругою 6, 10, 35, 110 та 220 кВ.

Орієнтовно попередній вибір оптимальної напруги може бути зроблений за формулою:

$$U=16\sqrt[4]{PL} \qquad (18.1)$$

де P – потужність, що передається, МВт; L – відстань, км.

Для техніко-економічного порівняння приймають два стандартних значення напруги, що межують зі значеннями, отриманими за формулою. При рівності показників або невеликій перевазі (10-15%) нижчої напруги перевагу віддають більш високому значенню. При цьому слід прийняти до уваги перспективу розвитку підприємства на найближчі 10 років, а також те, що мережа більш високої напруги вимагає менших витрат кольорових металів, енергії та потужності. Вирішальне значення для вибору напруги живлення гірничого підприємства електричною енергією мають реальні можливості джерела живлення, тобто умови приєднання до енергосистеми.

Розглядаючи значення номінальної напруги, що використовуються в системі зовнішнього електропостачання, можна виділити два основні випадки:

1. Напруга ЛЕП, що живлять підприємство, співпадає з напругою живлення технологічного обладнання (наприклад, напруга 6кВ). Як окремий випадок тут можна виділити такий, коли геотехнічне підприємство, поряд з іншими, живиться від ПЕС з вторинною напругою 10 кВ, а на підприємстві одна частина технологічного обладнання живиться напругою 10 кВ (наприклад споживачі

дробильно-сортувальних заводів), а друга частина напругою 6 кВ (споживачі кар'єру), вимагаючи встановлення для них трансформатора 10/6 кВ.

2. Напруга ЛЕП перевищує вищу напругу, що використовується на підприємствах, у зв'язку з чим в межах промислового майданчика підприємства проводиться трансформація енергії з 220,110 чи 35 кВ на 6 кВ.

## 18.4. Розподіл електроенергії на промислових майданчиках геотехнічних підприємств

Система електропостачання поверхні шахти чи рудника включає в себе ГПП, розподільчі та трансформаторні підстанції, що розташовані на промисловому майданчику, а також ЛЕП до підстанції та окремих віддалених споживачів.

На ГПП, як правило, встановлюються два трансформатори 35…220/6 кВ з регулюванням напруги під навантаженням, кожний з яких забезпечує 100% живлення споживачів 1 та 2 категорії геотехнічного підприємства. Для живлення силових електроспоживачів та освітлювальних установок поверхні шахт напругою до 1000 В встановлюють два трансформатори 6/0.4 кВ потужністю не більше 1000 кВА.

Потужність більшості сучасних вугільних шахт складає 5000-7000 кВт, а для деяких великих шахт вона досягає 20-40 тис. кВт. Ще більшу потужність мають рудники.

Основними споживачами електричної енергії на поверхні шахт і рудників є підйомні, вентиляторні, холодильні та компресорні установки, різне допоміжне обладнання для транспортування корисної копалини та породи (комплекс приймальних, складських та навантажувальних установок, ремонтні майстерні, калориферні установки та ін.). На території шахт та рудників можуть розташовуватися збагачувальні установки та дробильно-сортувальні фабрики. Потужність окремих установок досягає 5000 кВт і більше. Ріст загальної

потужності підприємства та окремих установок ставить на порядок денний використання для живлення потужних двигунів та розподілу енергії більш високою напругою 10 кВ замість 6 кВ.

Вибір схеми розподілу електроенергії в межах шахти чи рудника залежить від: характеристики джерела живлення; розташування, кількості, потужності, напруги та режиму роботи основних машин і механізмів; співвідношення навантаження електроспоживачів, розташованих на поверхні та в підземних виробках; генерального плану поверхні; безперебійності та ступені резервування, що вимагаються для окремих споживачів та підприємства в цілому; потужності та ступені завантаження крупних синхронних двигунів та ін.

Як правило, розподіл електроенергії на поверхні виконується напругою 6 кВ. До віддалених від майданчика шахти потужних флангових вентиляторних установок доцільно підводити енергію з більш високою напругою.

В сучасних схемах електропостачання закладається блоковий принцип побудови, при якому замість однієї ГПП будується декілька блокових підстанцій (БПП), що максимально наближають високу напругу до електроспоживачів. Місце розташування ГПП, її потужність і місцезнаходження БПП, трансформаторних підстанцій (ТП) і розподільчих установок (РУ) на проммайданчику визначається розрахунком, типом та кількістю потужних стаціонарних установок.

Вказані вище факти, розташування електроспоживачів чи їх груп обумовлюють схеми живлення електроспоживачів, в основі яких лежать радіальні, магістральні, кільцеві та комбіновані схеми.

Для споживачів 1 та 2 категорії приймають радіальні схеми, за допомогою яких живляться потужні відповідальні електроустановки, при цьому схеми забезпечують також резервування їх живлення. Радіальні схеми живлення являються гнучкими та зручними в експлуатації. Однак вони потребують більшої кількості апаратури керування, мають значну кількість ліній.

Радіальні схеми можуть бути багатоступеневими. При кількості ступенів більше двох вони є громіздкими і недоцільними. Тому одноступеневі схеми використовують для живлення великих зосереджених навантажень, розташованих в різних напрямках від джерела живлення, безпосередньо від ГПП чи ПГВ.

Для живлення невеликих цехових підстанцій та електроспоживачів напругою 6 кВ використовують двоступеневу схему щоб не завантажувати основні енергетичні центри (ГПП) підприємства великою кількістю малопотужних ліній.

Доцільність двоступеневої схеми з побудовою розподільчого пункту (ЦРП) розглядається при кількості ліній, що відходять від ЦРП вісім і більше. Часто двоступеневі схеми використовують без спорудження ЦРП, але з використанням цехових РП, від яких одержують живлення споживачі цеху (компресорні станції, холодильні установки та ін.)

При магістральній схемі розподілу електроенергії живлення кількох споживачів виконують одною або кількома лініями, що заводять по черзі в РП цих споживачів. Для споживачів 1 та 2 категорій використовують схеми здвоєних наскрізних магістралей, коли дві магістральні лінії від ГПП по черзі заводяться на кілька ТП.

Магістральні схеми використовують для розосереджених навантажень при такому їх розташуванні, коли ЛЕП від джерела до споживачів може бути прокладена без зворотних напрямків. При магістральній схемі краще завантажуються лінії, що вибрані за умовами КЗ, щільності струму чи для післяаварійного режиму, економиться число комірок на РП, вони мають меншу вартість. Але при цьому знижується надійність живлення.

Вибір конкретної схеми електропостачання поверхні шахти чи рудника виконується за допомогою техніко-економічного співставлення варіантів.

## 18.5. Схеми електропостачання стаціонарних електроспоживачів поверхні

### *18.5.1. Електропостачання підйомних установок*

В залежності від призначення рудникові підйомні установки поділяють на: вантажні – для підйому корисних копалин та породи (скіпові та з перекидними клітями); і людські – для підйому та спуску людей та обладнання в клітях.

В залежності від висоти підйому, продуктивності та типу установки електроспоживання підйомних установок може досягати 25% загального електроспоживання шахти чи рудника.

В якості привода підйомної установки використовують асинхронні електродвигуни з фазним ротором, привод постійного струму за системою Г-Д або за системою ТП-Д.

Одно- або дводвигунний асинхронний привод використовують до потужності 2000-2500 кВт. При цьому використовують двигуни: серії АК3 потужністю від 55 до 320 кВт напругою 380 В, серії АКН2, АКН потужністю від 315 до 1250 кВт напругою 6 кВ, раніше використовувалися асинхронні двигуни серії АТ, АТД, ДАФ, ФАМСО та ін.

Електропостачання підйомних установок з електродвигуном напругою 6 (10) кВ передбачається двома кабелями від різних секцій шин 6 (10) кВ ГПП (БПП) для одної людської клітьової або вантажо-людської підйомної установки (рис. 18.3, а), а для скіпових і клітьових вантажних підйомних установок – двома кабелями, або одним кабелем з резервуванням живлення за допомогою перемички від другої ПУ (рис. 18.3, б).

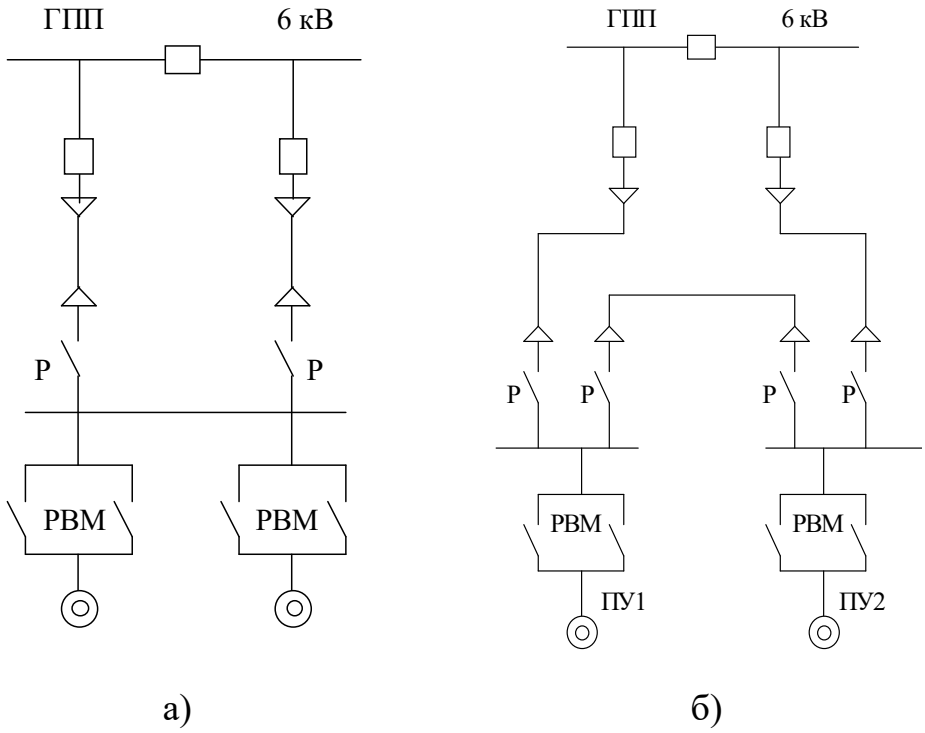



Рис. 18.3. Схеми електропостачання підйомних установок: а) для одної людської клітьової або вантажо-людської підйомної установки; б) для скіпових і клітьових вантажних підйомних установок

Допоміжна підйомна установка (порідна ПУ) може живитися одним кабелем (рис. 18.4, а), а для вугільного підйому допустимим є живлення за допомогою одної лінії, що складається з двох кабелів, приєднаних під один вимикач на ГПП (рис. 18.4, б).

На підйомних установках, як правило, вимикачі не встановлюються, керування приводом здійснюються за допомогою реверсорів або вимикачів на ГПП. Іноді в приміщенні ПУ встановлюються спрощені стаціонарні КРП типу КСО, які можуть бути як з вимикачем, так і без нього. Там само встановлюються трансформатори напруги та інші апарати.

При більш потужних ПУ, а також на багатоканатних підйомів використовують привод за системою Г-Д з мережевим двигуном 1000-5000 кВт. При цьому схеми електропостачання практично не відрізняються від попередніх (рис. 8.4, в). На нових шахтах та рудниках в цих умовах приймають привод за системою ТП-Д, що дещо ускладнює електропостачання.

В якості приводних двигунів в системі Г-Д використовують синхронні електродвигуни серії СДН, а для привода підйому – двигун постійного струму серії П2 від 1000 до 5000 кВт.

Для приводу за системою ТП-Д використовують нереверсивні перетворювальні агрегати ТП3 (700-6600 кВт) та реверсивні – ТПРЗ (700-2500 кВт). Для живлення силових тиристорних секцій використовують трансформатори без регулювання напруги під навантаженням: з масляним охолодженням ТМП, масляні з дуттям ТДП, з негорючою рідиною ТНП, сухі ТСЗП, з двома активними частинами ТМПД та ТДПД, а також трансформаторами з регулюванням напруги під навантаженням ТМНПД та ТДНПД.

При живленні багатоканатної підйомної машини, остання знаходиться на верхньому поверсі баштового копра, а масляний трансформатор ТМП встановлюється на першому поверсі. При цьому з'являється проблема передачі значної потужності (4000-5000 кВт) при напрузі 500-900 В. Ця каналізація енергії може здійснюватися змінним струмом, коли ТП встановлюється на верхніх поверхах, або постійним струмом, якщо ТП встановлюється поряд з трансформатором. З використанням сухих трансформаторів ця проблема зникає, так як з’являється можливість компонувати перетворювальну підстанцію майже поруч з двигуном.

Приймаючи до уваги, що система ТП-Д є значним споживачем реактивної потужності та вносить викривлення кривої напруги в мережі, в більшості випадків на ПУ встановлюється РУ-6 кВ з встановленням трансформатора власних потреб (ТВП) та необхідних засобів компенсації споживання реактивної потужності та фільтрації вищих гармонік напруги (рис. 18.4, г).

Якщо на шахті чи руднику використовутєься декілька потужних приводів за системою ТП-Д, на них слід виділяти окрему обмотку трансформатора, на РУ-6 кВ ГПП встановлюються також фільтрокомпенсуючі установки.

Допоміжні електроспоживачі ПУ напругою до 1000 В (джерела живлення динамічного гальмування, кіл збудження синхронних двигунів, двигунів

постійного струму, електродвигунів компресорів, системи змащення, електронагрівачі та ін. живляться двома кабелями від РУ-0,4 кВ ГПП або від найближчого ТП чи від трансформатора власних потреб ПУ.

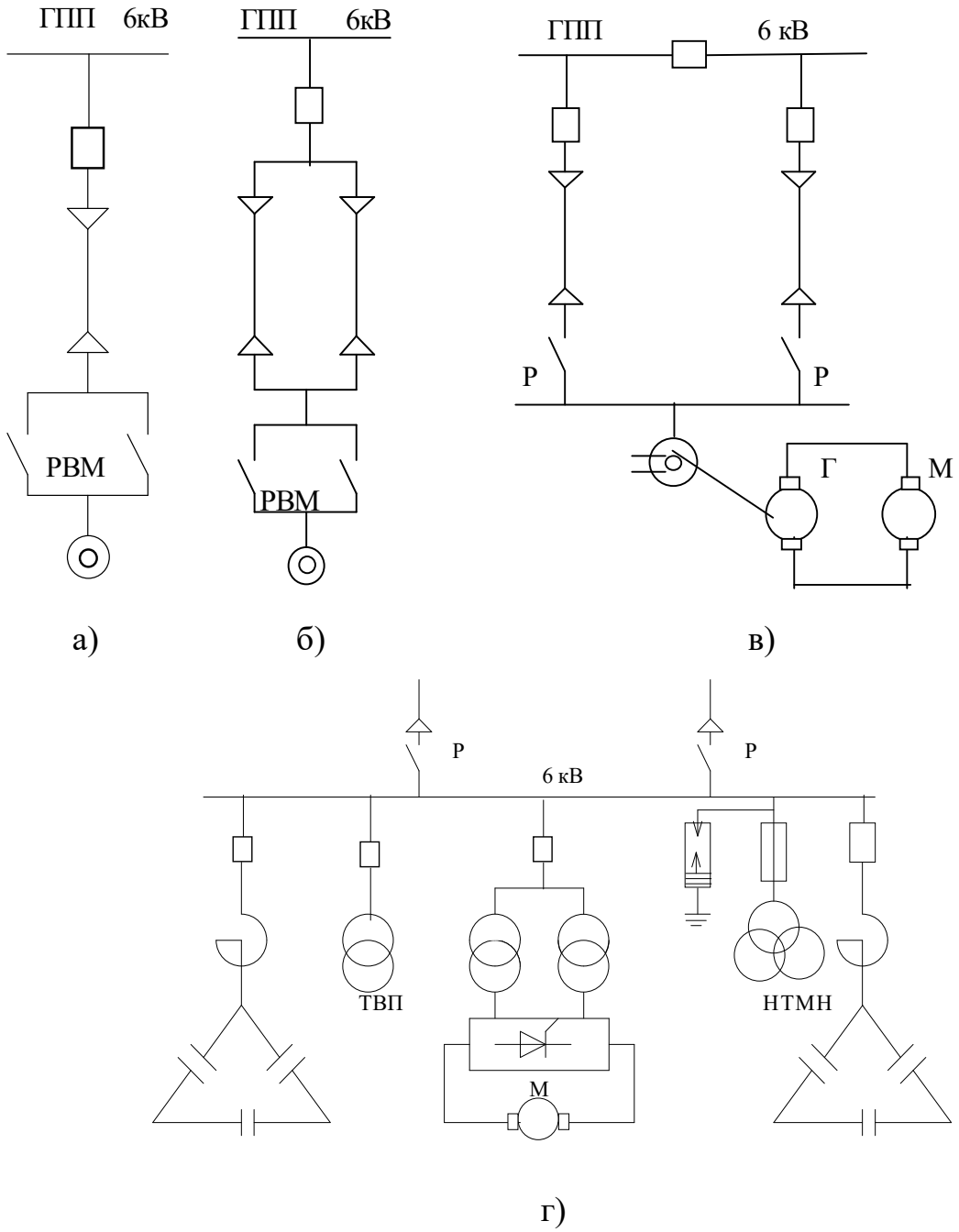



Рис. 18.4. Схеми електропостачання підйомних установок (продовження):
а) живлення одним кабелем; б) живлення однією лінією з двох кабелів;
в) живлення підйомної установки з приводом Г-Д; г) живлення підйомної установки з приводом ТП-Д

### *18.5.2. Електропостачання вентиляторних установок*

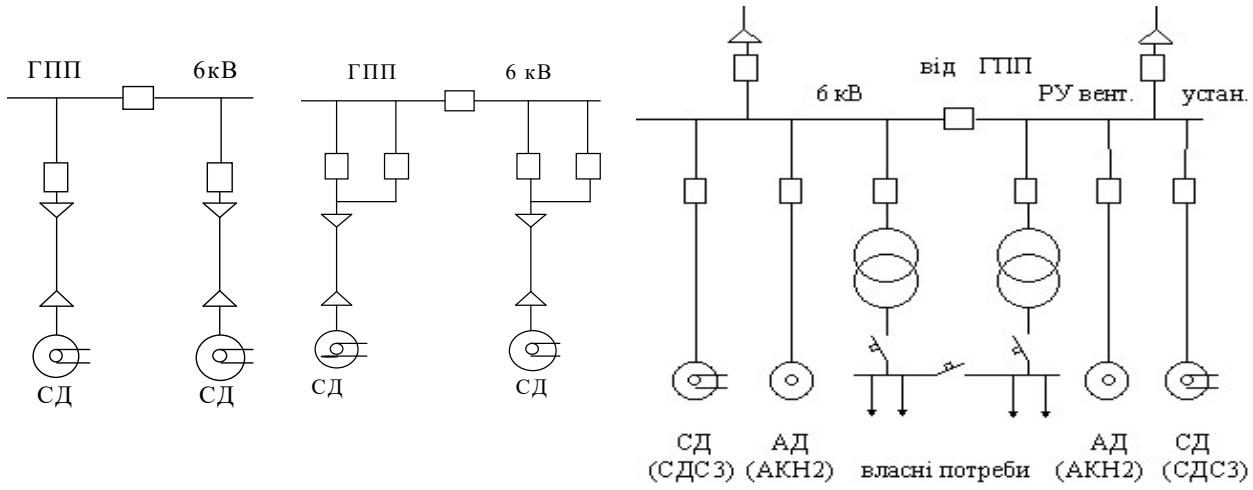
У відповідності з ПБ провітрювання підземних виробок шахт і рудників повинно здійснюватися за допомогою неперервно діючих вентиляторів, встановлених на поверхні біля гирла герметично закритих стовбурів шахт.

Головні вентиляторні установки складаються з двох самостійних агрегатів, один з яких є резервним. Потужність електродвигунів вентиляторних установок залежить від кількості повітря, що подається в шахту, статичного напору (депресії), ККД вентилятора, що в свою чергу залежить від його конструкції та продуктивності. В залежності від протяжності та перерізу гірничих виробок, газовиділення та інших факторів потужність приводних двигунів коливається в значних межах – від 100 до 2000 кВт і вище. Відповідно і витрати електроенергії на вентиляцію доходить до 20% від загальних по шахті.

Для привода вентилятора використовують асинхронні короткозамкнуті двигуни напругою 380 В при потужності до 200 кВт, асинхронні з фазним ротором – потужністю до 350 кВт. При більшій потужності – переважно синхронні двигуни напругою 6 кВ, використовуючи їх одночасно для компенсації реактивної потужності підприємства. За наявності труднощів прямого пуску синхронного двигуна від мережі (прямий пуск рекомендують при потужності на один полюс 250-300 кВт) використовують в якості розгінного асинхронний двигун з фазним ротором меншої потужності ніж синхронний. Приймаючи до уваги, що при пуску вентилятора розганяють значні махові маси, щоб виключити вплив на роботу інших споживачів шахти доцільно забезпечити плавний пуск при струмі (1,5 … 2) $I_н$; тому при необхідній потужності вентиляторної установки 2000 кВт і більше рекомендують приймати асинхронний двигун з фазним ротором, що дає можливість також, при необхідності, регулювання роботи вентилятора.

При обґрунтуванні економічної доцільності регульованого приводу для вентиляторної установки використовують систему асинхронно-вентильного (АВК) чи асинхронно-машиновентильного (АМВК) каскаду.

Електропостачання вентиляторних установок, розміщених на одному майданчику з ГПП (БПП) передбачається двома кабелями безпосередньо від взаємно резервованих секцій шин РУ 6 (10) кВ ГПП без виконання РУ 6 кВ в приміщенні вентиляторів, а споживачі власних потреб (приводи ляд та дверей для реверсу течії повітря, направляючих та спрямляючих апаратів, маслосистеми та ін.) живлять від різних секцій шин РУ-0,4 кВ ГПП (рис. 18.5, а). Для реверсивних вентиляторів на РУ-6 кВ ГПП на кабелі, що живлять вентилятори встановлюють по два КРП (рис. 18.5, б). Для приводу вентилятора з розгінними двигунами в приміщенні вентиляторної установки монтується РУ-6 кВ і встановлюються невеликі трансформатори власних потреб (рис. 18.5, в).

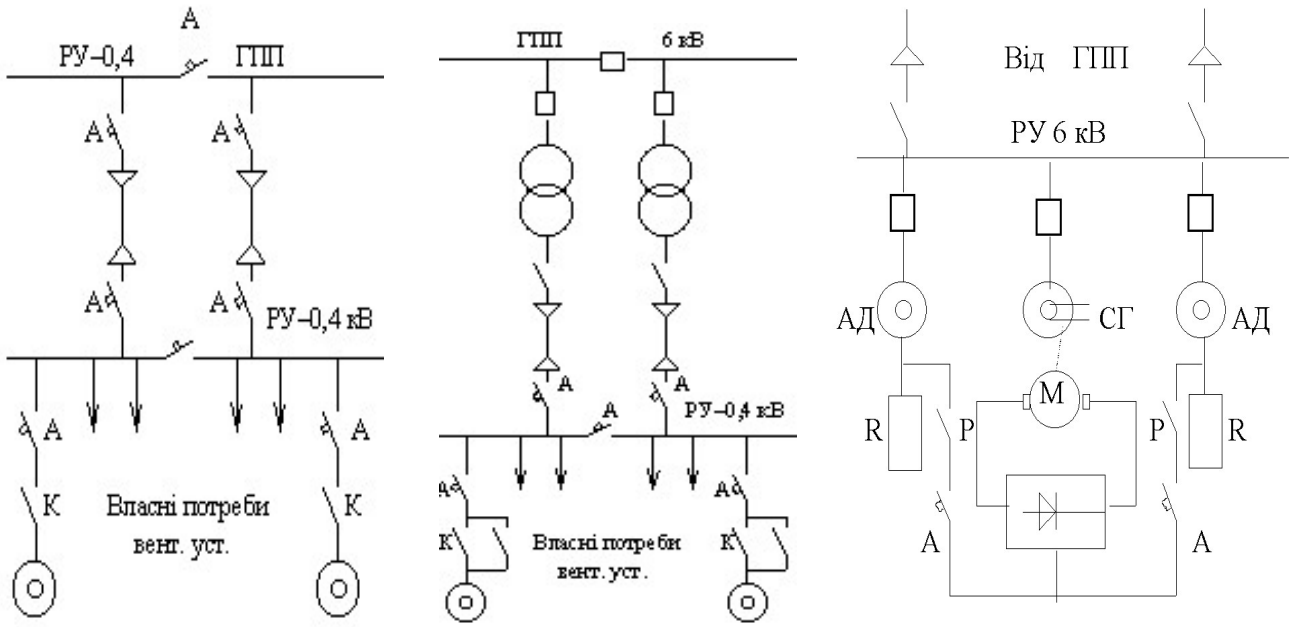



а) б) в)

Рис. 18.5. Схеми електропостачання вентиляторних установок: а) типова схема; б) схема електропостачання реверсивних вентиляторів; в) схема електропостачання вентиляторів з розгінними двигунами

Якщо вентилятори головного провітрювання мають двигуни напругою 380 В, то вони одержують живлення електроенергією двома кабелями від різних секцій шин РУ-0,4 кВ ГПП (рис. 18.6, а) або від своїх спеціальних

трансформаторів (рис. 18.6, б) що встановлюються на ГПП. При використанні регульованого приводу для вентиляторів головного провітрювання, в будівлі вентиляторів встановлюють РУ-6 кВ, що живляться від різних секцій шин ГПП двома кабелями (рис. 18.6, в).




а) б) в)

Рис. 18.6. Схеми електропостачання вентиляторних установок (продовження):
а) схема електропостачання вентиляторів з двигунами на напругу 380 В без використання трансформаторів; б) схема електропостачання вентиляторів з двигунами на напругу 380 В з використанням трансформаторів;
в) схема електропостачання регульованого електроприводу

Електропостачання вентиляторних установок, розташованих на віддалених від основного майданчика стовбурах та шурфах здійснюється двома лініями напругою 6(10) кВ від взаємно резервованих секцій шин 6(10) кВ ГПП, або по схемі глибокого вводу напругою 35-110 кВ з спорудженням флангової підстанції 35-110/6; 10/0,4 кВ при 100% резервуванні. Від секцій шин РУ 6(10) кВ підстанцій 6(10)/0,4 кВ чи флангової підстанції глибокого вводу живляться вентиляторні

установки флангового стовбура чи шурфу за принципами, що викладені вище, а також інші технологічні установки цього проммайданчика.

### *18.5.3. Електропостачання компресорних установок*

Компресорні установки призначені для виробництва стисненого повітря для живлення споживачів з пневмоприводом. Всупереч тому, що пневматична енергія значно дорожча за електричну, до її переваг відноситься висока ступінь безпеки, простота та надійність пневмодвигунів. Тому на шахтах з крутим падінням пластів основним видом енергії досі є пневматична. За можливості одночасного використання електричної та пневматичної енергії, остання використовується для живлення допоміжних робіт.

На шахтах і рудниках набули поширення поршневі компресори, гвинтові компресори та турбокомпресори.

Гвинтові компресори є найменш потужними і їх можна використовувати в підземних виробках. Потужність їх привода складає 45-160 кВт, вони обладнуються асинхронними двигунами з короткозамкнутим ротором типів ВАО і ВР напругою 380/660 В.

Навантаження поршневих компресорів має пульсуючий характер, пов’язаний з наявністю кривошипно-шатунного механізму. Це навантаження на валу вирівнюється за допомогою маховика чи спеціально обважненої конструкції ротора. При потужності двигуна до 160 кВт використовують асинхронний двигун з КЗ ротором, при більших значеннях – синхронний з напругою 380 В для потужності до 200 кВт та 6 кВ – при більшій потужності. Значного поширення на шахтах набули швидкохідні поршневі компресори типу М з синхронним двигуном типу СДК(П) з потужністю від 320 до 6300 кВт.

Для турбокомпресорів, де необхідна висока частота обертання та велика потужність приводу, використовуються високошвидкісні синхронні двигуни з частотою обертання 3000 об/хв типів СТМ, СТД потужністю від 800 до 12000 кВт

напругою 6(10) кВ. При потужності двигунів до 1 МВт запуск проводиться безпосередньо від мережі, а при більшій потужності – при пониженій напрузі з використанням автотрансформаторного або реакторного пуску. Перевагу віддають реакторному пуску.

Оскільки витрати стисненого повітря постійно змінюються з'являється необхідність регулювання режиму роботи компресорної станції. Для поршневих компресорів ця проблема вирішується зміною кількості працюючих компресорів. Однак цей шлях є неприйнятним для турбокомпресорів через складність їх запуску. В якості регульованого приводу турбокомпресорів може бути привод подвійного живлення, прикладом якого може бути асинхронізований синхронний двигун АСД-630/6000 (рис. 18.7). Двигун запускається за допомогою індукційного реостата, що забезпечує безступеневий розгін до 90 % синхронної частоти, після чого реостат від'єднується. Перетворювач частоти UZ перетворює частоту мережі 50 Гц в напругу частотою до 6 Гц.

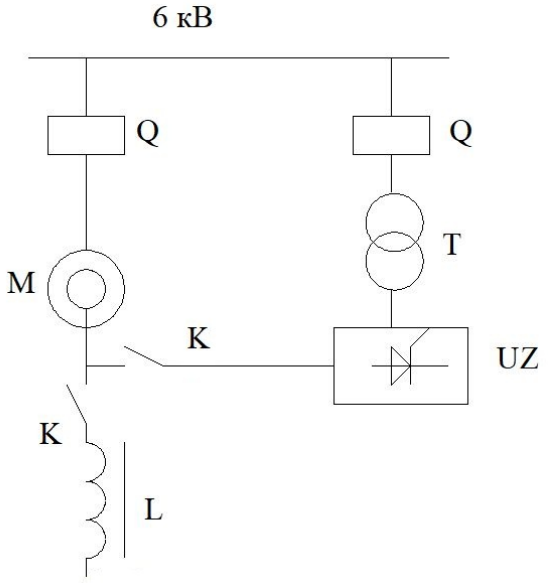



Рис. 18.7. Схема приводу двигуна компресора за схемою машини подвійного живлення

При використанні пневмоенергії в якості основної, компресорні станції є споживачами першої категорії. При цьому, як правило, до складу компресорної станції входить декілька компресорних установок. Для них передбачають спеціальне РУ-6(10) кВ (рис. 18.8 в приміщенні компресорної станції з двома

секціями шин. Там само розташовуються і два трансформатори власних потреб, що живлять допоміжні споживачі (електромашинні або тиристорні збудники, двигуни насосів маслозмащення, охолодження та вентиляції, станції керування та джерела постійного струму до них).

Якщо на шахті пневмоенергія є допоміжною, то компресорна станція відноситься до другої категорії, а кількість компресорів складає один-три. В цьому випадку компресори живляться безпосередньо від ГПП. Якщо ж кількість компресорів становить чотири і більше, то доцільним є спорудження РУ-6(10) кВ в приміщенні компресорної станції.

Якщо привод компресорів виконано напругою 380 В, то компресори разом з допоміжними споживачами живляться від шин РУ-0,38 кВ в приміщенні компресорної станції, яка в свою чергу живиться двома кабелями від РУ-0,38 кВ ГПП або від спеціальних трансформаторів.

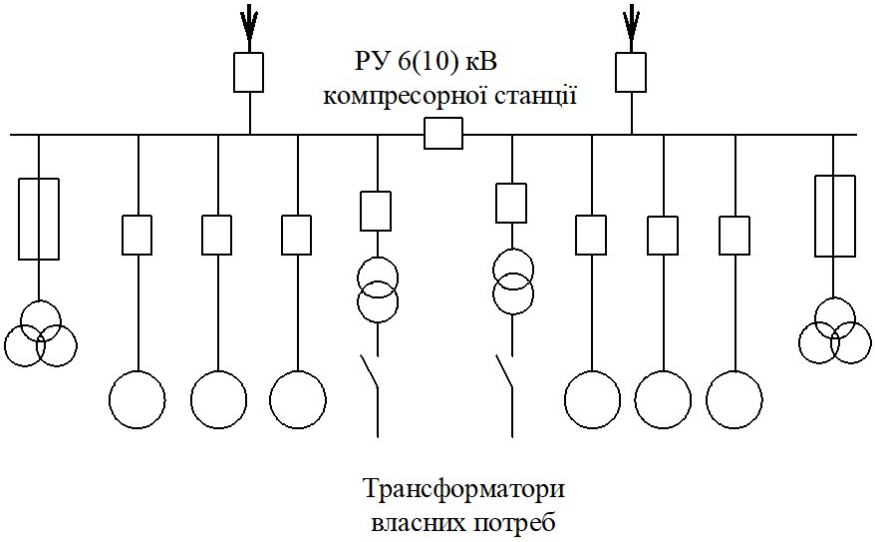



Рис. 18.8. Схема РУ-6 (10) кВ компресорної станції

### *18.5.4. Електропостачання калориферних та холодильних установок*

Для підігріву повітря, що подається в шахту, використовують калориферні установки з вентиляторами та безвентиляторні. Для безвентиляторних і

вентиляторних калориферних установок в якості приводів механізмів використовують асинхронні двигуни з КЗ ротором.

Для вентиляторних калориферних установок силовими споживачами є два двигуни вентиляторів та двигуни механізмів направляючих апаратів вентиляторів, двигун лебідки протипожежних ляд, Для безвентиляторних калориферних установок – це двигуни лебідки протипожежних ляд, механізмів повітряних штор, клапану відсікача, повітряної заслінки та регулюючої ляди.

Електроспоживачі калориферних установок живляться від розподільчого щита 220/380 В в приміщенні установки. Двигуни живляться через автоматичні вимикачі та контактори.

Згідно з санітарними нормами, максимально допустима температура повітря в виробках шахт обмежується 26° С при відносній вологості до 90 % та 25° С при більшій вологості. Для одержання холоду з метою охолодження повітря в підземних виробках глибоких шахт використовують стаціонарні холодильні машини в загальнопромисловому та рудниковому виконанні.

Стаціонарні установки охолодження шахтного повітря включають холодильні машини, теплообмінники, станції водопідготовки, мережі холодильного агента та охолоджуючої води, насоси, повітроохолоджувачі та допоміжне обладнання.

Технологічні схеми охолодження повітря можуть бути з установкою холодильних машин на поверхні шахти, з розміщенням холодильних машин на поверхні, а повітроохолоджувачів в гірничих виробках, з розташуванням холодильних установок в підземних виробках та з розташуванням холодильних установок в шахті з відводом тепла на поверхню шахти.

Основним електроспоживачем компресорних холодильних машин є привод компресора, до нього висувають ті ж вимоги, що і до компресорних установок.

Для холодильних установок з поршневим компресором використовують асинхронні двигуни з КЗ ротором типів ВАО, АЗ на напругу 380/660 В

потужністю до 250 кВт, для привода турбокомпресорів холодильних машин – синхронні двигуни типів СТД, СТМ напругою 6 кВ.

Для керування високовольтними синхронними двигунами використовується силова апаратура та станції аналогічні що і для компресорних установок.

Підземні холодильні машини живляться від шахтної мережі напругою 660 В за допомогою магнітних пускачів ПВИ. Холодильні установки, що розміщуються на поверхні шахти, мають високовольтний привод компресора і живляться безпосередньо від РУ-6 кВ ГПП. При наявності потужної компресорної станції на шахті доцільно виконувати загальне РУ-6 кВ в приміщенні компресорної установки з живленням також холодильних установок.

В приміщенні холодильних установок поверхні шахти розташовується РУ-0,38 кВ, від якого живляться допоміжний компресорно-конденсаторний агрегат, насоси маслозмащення, вакуум-насос, циркуляційні насоси охолодження розсолом, нагрівачі масла, вентилятори, станції управління і ін.

## Контрольні запитання

*1. Сформулюйте принцип відокремленого живлення.*

*2. Як виконується електропостачання підйомних установок?*

*3. Як виконується електропостачання вентиляторних установок?*

*4. Як виконується електропостачання компресорних установок?*

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи геотехнічних виробництв» / І. С. Рябенко, С. П. Шевчук, О. В. Мейта; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 613 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50351

2. І. С. Рябенко, С. П. Шевчук. Безпечне використання електроенергії в геотехнічних виробництвах, навч. посібник, НТУУ «КПІ», 2007, 284 с.

3. Електрообладнання та електропостачання машин і установок електротехнічних комплексів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. В. Мейта, М. П. Осадчук. – Електрон. текст. дані (1 файл: 4,77 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 102 с. – Назва з екрана. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67806

4. Наказ від 04.06.2025 № 2585 Про затвердження Правил безпеки ведення гірничих робіт у вугільних шахтах [Електронний ресурс]. – Дата початку дії: 05.09.2025. – реєстр. № 1145/44551 – Заголовок з екрана. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1145-25

5. НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97) Правила безпечної експлуатації електроустановок. – Дата початку дії: 25.02.2000. – реєстр. № 11/2451. – К.: ПрофКнига, 2021. – 116 с.

6. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Дата початку дії: 20.02.1998. – реєстр. № 93/2533. – К.: ПрофКнига, 2020. – 176 с.

7. НПАОП 40.1-1.07-01 (ДНАОП 1.1.10-1.07-01) Правила експлуатації електрозахисних засобів. – Дата прийняття: 05.06.2001 – К.: ПрофКнига, 2021. – 120 с.

8. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Київпромелектропроект, 2001.

9. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – Дата початку дії: 21.08.2017. – Київ, 2017. – 617 с. – Заголовок з екрана. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf