

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

В. М. Охріменко, С. І. Корнелюк, А. О. Карюк

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія,
освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

УДК 621:311.4:621.316.1

Охріменко В. М. Основи електропостачання та електроспоживання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія, освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання» / В. М. Охріменко, С. І. Корнелюк, А. О. Карюк ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 176 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. В. М. Охріменко,
ст. викл. С. І. Корнелюк,
ст. викл. А. О. Карюк

Рецензент

В. А. Малярєнко, доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 1 від 26 серпня 2025 р.

© В. М. Охріменко, С. І. Корнелюк, А. О. Карюк, 2026
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	6
Вступ	8
Тема 1 Системи електропостачання і електроспоживання у складі об'єднаної енергетичної системи України	9
1.1 Короткі історичні відомості	9
1.2 Склад енергетичної системи України	12
1.3 Основні поняття і визначення	14
1.3.1 Системи електропостачання та системи електроспоживання....	19
1.4 Структура електричних мереж у містах	20
1.4.1 Види електричних мереж	23
1.5 Взаємодія споживачів і джерел електричної енергії	24
Контрольні запитання з теми 1.....	26
Тема 2 Електроприймачі	27
2.1 Категорії електроприймачів	27
2.2 Загальна характеристика електроприймачів міст	30
2.2.1 Електроприймачі квартир	32
2.2.2 Загальнобудинкові електроприймачі	34
2.3 Технічні характеристики електроприймачів	35
2.4 Режими роботи електроприймачів	36
2.5 Електричне освітлення	39
2.5.1 Джерела світла і освітлювальна апаратура	41
2.5.2 Спрощені способи розрахунку освітлювальних установок	46
Контрольні запитання з теми 2	49
Тема 3 Електричні навантаження	50
3.1 Розрахункові навантаження	50
3.2 Розрахунок навантаження житлових будинків.....	58
3.3 Розрахунок навантаження громадських будівель і споруд	67
Контрольні запитання з теми 3.....	75

Тема 4 Побудова систем електропостачання міст	77
4.1 Загальні вимоги до системи електропостачання	77
4.1.1 Концепція системи електропостачання	77
4.1.2 Напруги міських мереж	80
4.2 Електропостачальні мережі у містах	81
4.3 Живильні мережі 10(6) кВ	82
4.4 Розподільні мережі 10(6) кВ	85
4.4.1 Петльова мережа	85
4.4.2 Двопроменева мережа з АВР на стороні 10(6) кВ	86
4.4.3 Двопроменева мережа з АВР на стороні 0,4 кВ	87
4.4.4 Багатоприменова розподільна мережа	88
4.5 Розподільні мережі 0,4 кВ	89
Контрольні запитання з теми 4.....	91
Тема 5 Розрахунки електричних мереж	92
5.1 Задачі розрахунку електричної мережі	92
5.2 Визначення перерізу проводів і кабелів	93
5.3 Визначення струмів апаратів захисту	96
5.4 Вибір потужності та визначення втрат у трансформаторах	100
Контрольні запитання з теми 5.....	102
Тема 6 Захист електричних мереж.....	103
6.1 Види захисту електричної мережі	103
6.2 Апарати захисту	106
6.3 Вибір і розміщення апаратів захисту	114
Контрольні запитання з теми 6.....	119
Тема 7 Конструктивне виконання елементів систем електропостачання ...	120
7.1 Розміщення трансформаторних підстанцій	121
7.2 Ввідно-розподільні шафи	128
7.3 Розподільні пункти і щитки	134
7.4. Улаштування внутрішніх електричних мереж	137
Контрольні запитання з теми 7.....	145

Тема 8 Електробезпека	146
8.1 Небезпека ураження людини електричним струмом	146
8.2 Системи захисного заземлення	149
8.3 Загальні заходи безпеки	156
8.4 Заземлення	158
8.5 Захисне відключення і розділові трансформатори.....	161
8.5.1 Апарати захисного відключення	161
8.5.2 Розділові трансформатори	163
Контрольні запитання з теми 8	164
Список рекомендованих джерел	165
Додатки	168

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

А

АВР – автоматичне включення резерву

Б

БКТП – блокова комплектна трансформаторна підстанція

В

ВП – ввідний пристрій

ВРП – ввідно-розподільний пристрій

ВРШ – ввідно-розподільна шафа

Г

ГРЩ – головний розподільний щит

Д

ДЕС – державна електростанція

ДБН – державні будівельні норми

ДРЛ – дугова ртутна лампа високого тиску

Е

ЕЕ – електрична енергія

ЕС – електрична станція

К

КЗ – коротке замикання

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

КТПБ – бетонна КТП

КТПЗ – залізнична КТП

КТПММ – комплектна трансформаторна підстанція міських мереж

КТПН – комплектна трансформаторна підстанція зовнішнього встановлення

Л

ЛЕП – лінія електропередачі

М

МЕК – міжнародна електротехнічна комісія

О

ОЕС – об'єднана енергетична система

ОЕПтаЕС – основи електропостачання та електроспоживання

П

ПГВ – підстанція глибокого введення

ПЗВ – пристрій захисного вмикання

ПРА – пускорегулювальний апарат

ПУЕ – правила улаштування електроустаткування

ПС – підстанція

Р

РЕЕС – регіональна електроенергетична система

РП – розподільний пункт (пристрій)

РШНН – розподільна шафа низької напруги

РЩ – розподільний щиток

С

СЕЕ – споживач електричної енергії

СЕП – система електропостачання

СЕС – система електроспоживання

Т

ТВ – відносна тривалість вмикання

ТП – трансформаторна підстанція

ТЕС – теплоелектростанція

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

Ц

ЦЖ – центр живлення

ВСТУП

Вивчення дисципліни «Основи електропостачання та електроспоживання» (ОЕПтаЕС) передбачено навчальним планом підготовки бакалавра зі спеціальності G3 Електрична інженерія освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Об'єктом вивчення дисципліни «ОЕПтаЕС» є концептуальні основи систем електропостачання та систем електроспоживання. **Предметом** вивчення дисципліни є:

- основні фізичні процеси в системах електропостачання та електроспоживання;
- структура систем електропостачання (СЕП) та систем електроспоживання (СЕС).

Мета курсу «ОЕПтаЕС»:

- формування системи теоретичних знань щодо спеціальності G3 Електрична інженерія, місця СЕП та СЕС в межах цієї спеціальності;
- формування практичних навичок виконання аналізу та основних розрахунків параметрів та режимів СЕП та СЕС
- вивчення підходів до розгляду взаємодії структурних складових СЕП та СЕС;
- застосування отриманих теоретичних знань та практичних навичок при аналізі, дослідженні, проєктуванні та експлуатації СЕП та СЕС.

Під час формування тексту цього конспекту автори використали наявні у відкритому доступі джерела. Зокрема, основний матеріал є переробленим і доповненим текстом навчального посібника «Електропостачання у будівництві» [1]. Наведені довідкові дані щодо параметрів електрообладнання мають суто навчальний характер і не можуть бути використані під час реального проєктування елементів систем електропостачання та електроспоживання.

ТЕМА 1

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ І ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ У СКЛАДІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

1.1 Короткі історичні відомості

Потреби виробництва у процесі розвитку цивілізації ставили перед науковцями та інженерами завдання пізнання теплових, електричних та магнітних явищ, радіоактивності та використання їх на практиці.

Знання, накопичені людством протягом тисячоліть, видатні наукові відкриття та винаходи в епоху Відродження, промислові революції XVI–XVIII ст. і наступний період забезпечили успішний розвиток засад електроенергетики: термодинаміки та теорії теплопередачі, теплотехніки, теорії електрики та електротехніки.

У розвитку та становленні електроенергетики можна виділити такі основні етапи.

Етап становлення сегмента електростатики. Цей етап тривав до 1800 року. Сюди можна зарахувати перші спостереження явищ електростатики. У цей період створювалися перші електростатичні машини та прилади, досліджувалась атмосферна електрика, розроблялися перші теорії в цій області. На цьому етапі було ухвалено закон Кулона. Варто відзначити також початок зародження електромедицини.

Наступний етап – це *стадія розроблення наукових засад, закладення фундаменту*. Цей етап тривав з 1800 до 1830 року. У цей час було створено «вольтовий стовп», який був представлений електрохімічним генератором. Також розроблено батарею В. В. Петрова. З її допомогою було здійснено отримання електричної дуги та безліч інших відкриттів. Найважливішим у цій стадії є відкриття основних законів, а саме – Ампера, Ома, Біо-Савара. Також було створено прообраз електродвигуна та встановлені основні зв'язки між зазначеними вище явищами.

Етап зародження електротехніки з 1830 до 1870 року. У цей час було сформовано розуміння виникнення електричного струму в замкнутому контурі М. Фарадеєм. Також сформовані закони Ленца та Кірхгофа. Важливо ще й створення перших джерел світла, поява різних приладів. У цей період відбувається зародження електровимірювальної техніки. Але її практична експлуатація була неможливою через відсутність дієвого та економічного генератора.

Далі слідує *етап становлення електротехніки як самостійного сегмента*. Він продовжувався з 1870 до 1890 року. На цей час був створений перший електромашинний генератор із самозбудженням. Пізніше його ще стали пізніше називати динамомашиною. На цьому етапі розвиток електротехніки приходить до того, що галузь починає ставати самостійною.

Період становлення та впровадження електричної енергії у господарство та побут (з 1891 року). У цей період розробляється система трифазного електричного струму, формується комплексний метод аналізу електротехнічних процесів. Його запропонував Ч. П. Штейнмець. Також стрімко розвивається електрифікація різних країн. Починають будуватися електричні станції та розроблятися нові конструкції машин.

Період зародження та становлення електроніки. Він включає першу половину XX століття. У цей час з'являється техніка перетворювального типу через зростання потреби в постійному струмі. Також виникає мікроелектроніка.

Отже, до кінця XIX століття, обмежене і залежне пряме підключення мануфактурних машин від водяних, вітряків і парових двигунів через приводні вали і ремені поступилося місцем електричному приводу, що отримує енергію по проводах, протягнутих від віддалених гідроелектростанцій і паротурбінних установок. Форма та характер заводів у XX столітті змінилася кардинально, оскільки машини з електроприводом можна було встановити будь-де. Крім того, електроенергія витіснила кінні та парові візки тролейбусами та трамваями. Також електроенергія замінила гас для зовнішнього та домашнього освітлення, дрова і вугілля в печах й обігрівачах.

Важливий внесок у розвиток електрики зробив Томас Едісон. Інноваційні підходи Едісона до винаходів та просування розвитку електричного освітлення, плюс розвиток системи виробництва та розподілу електричної енергії, дозволили його системі отримати широке розповсюдження. У 1880 році його лампи розжарювання уможливили широке поширення надійної, комерційної системи внутрішнього освітлення, а його центральна електростанція на Pearl Street в Манхеттені стала зразком для систем вироблення та розподілу електроенергії. Не менш важливим став внесок ряду інших дослідників електроенергетичних технологій, зокрема Френка Спарга, який побудував перший комерційно успішний електричний трамвай у Річмонді, штат Вірджинія у 1887 році та Нікола Тесла, який розробив генератор змінного струму.

Система Едісона, заснована на постійному струмі, стала початковим стандартом для систем виробництва та розподілу електроенергії, живлення електричних залізниць та промислових двигунів, а також освітлення. На жаль, вона не могла бути легко застосована для передачі електроенергії на великі відстані, що можливо при використанні змінного струму. Здійснюючи конкуренцію з компанією Едісона в галузі електроенергетики, компанія Вестінгауза, використовувала змінний струм, що сприяло розвитку потужних генеруючих електростанцій, розташованих на великих відстанях від споживачів. Освоєння Вестінгаузом гідроенергетики на Ніагарському водоспаді із застосуванням багатофазної системи Тесла, системи з передачі електроенергії на змінному струмі від далеких енергетичних об'єктів у Каліфорнії, Сьєрра-Невада до прибережних міст Сан-Франциско і Лос-Анджелес наочно показали переваги змінного струму.

До початку XX століття виникли необхідні умови для подальшого широкого розвитку електроенергетики: були створені ефективні парові та гідравлічні турбіни, електричні генератори змінного струму, побудовані та успішно експлуатувалися перші теплові та гідравлічні електростанції, лінії електропередачі високої напруги.

Отриманий досвід застосування електроенергії продемонстрував її величезні технологічні переваги завдяки використанню при її виробництві різних видів первинної енергії (відновлюваних та невідновлюваних), що перетворюються на вторинну енергію, та передачі її на великі відстані. У виробництво електроенергії залучалися масштабні енергоресурси, такі як вугілля, торф, нафта, газ, гідравлічна енергія.

Було доведено високу ефективність електрики, що забезпечує світло, тепло, механічну енергію, можливість багатофункціонального її використання у промисловості, транспорті, сільському господарстві, у побуті тощо.

Таким чином, було створено умови для настання ери сучасної електроенергетики.

З початку XX ст. стрімкий розвиток електроенергетики став основою зростання економіки та підвищення якості життя людей. Найважливіше значення має електроенергетика у структурній перебудові енергетичного комплексу з широким впровадженням електротехнологій, завдяки чому досягається багаторазове зниження енерговитрат та викидів забруднюючих речовин у довкілля.

Великий вплив на розвиток електроенергетики надали відкриття явища радіоактивності, оволодіння атомною енергією.

Історія пізнання основ тепло-, електро- та ядерної техніки, освоєння людиною теплової, електричної та атомної енергії, створення перших електростанцій, ліній електропередачі та об'єднаних енергосистем, розвитку електротехнологій та використання електроенергії відображає величезні досягнення людства у вивченні навколишнього світу, які забезпечили настання ери сучасної електроенергетики.

1.2 Склад енергетичної системи України

Електроенергетика України функціонує як *об'єднана енергетична система* (ОЕС), яка розглядається як «сукупність електростанцій, електричних і

теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної й теплової енергії за централізованого управління цим режимом» [2].

Важливо звернути увагу на особливість терміну **енергетична** система. На відміну від **електричної** системи, де протікають *основні процеси, пов'язані лише з електричною енергією*, в **енергетичній** системі протікають основні процеси *пов'язані з електричною та з тепловою енергіями*. Ці процеси протікають паралельно, одночасно реалізується вироблення, передавання, розподіл та споживання електричної і теплової енергії. На рисунку 1.1 показана структура енергетичної системи України, яку будемо називати «Електроенергетика».

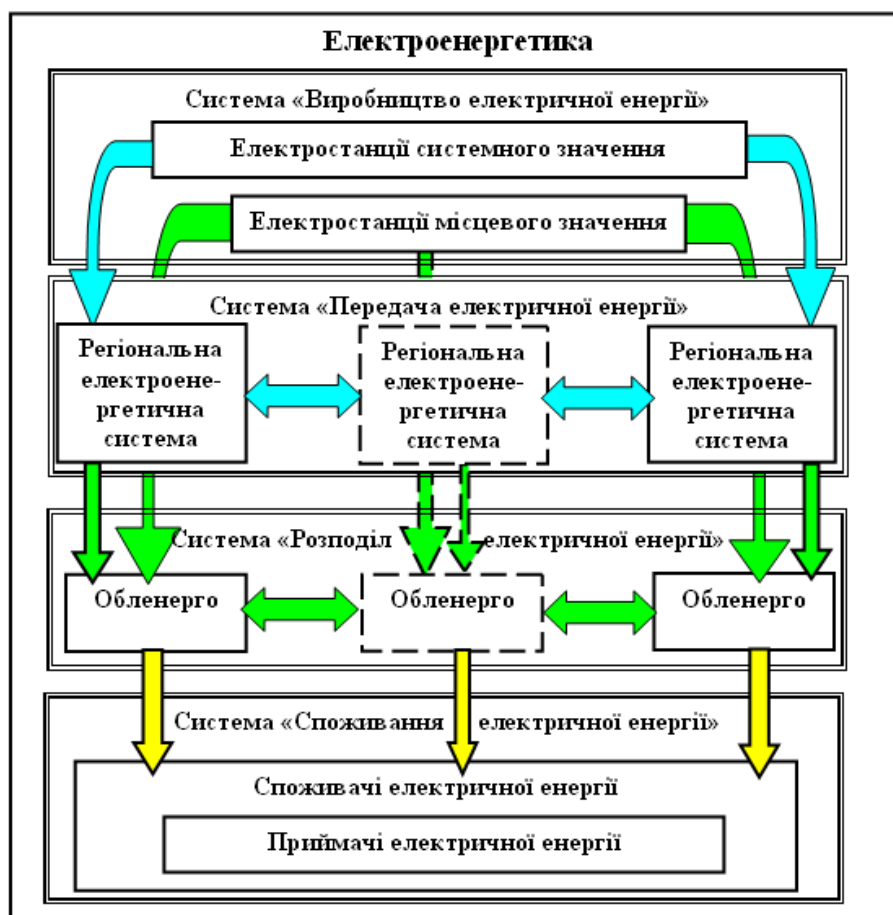


Рисунок 1.1 – Структура системи «Електроенергетика» [3]

У складі системи «Електроенергетика» показані наступні підсистеми: «Виробництво (генерація) електричної енергії»; «Передача електричної енергії»; «Розподіл електричної енергії» і «Споживання електричної енергії».

У складі підсистеми «Виробництво електричної енергії» розрізняють дві групи джерел електричної енергії – електричні станції системного значення (забезпечують формування і підтримання режиму електроенергетичної системи) і електричні станції місцевого значення (не приймають участі у формуванні і підтриманні режиму електроенергетичної системи).

Основною функцією підсистеми «Передача електричної енергії» є транспортування (передавання) великої потужності на значні (сотні км) відстані. В Україні до її складу входять регіональні електроенергетичні системи (РЕЕС), які розміщені на адміністративній території трьох областей. Так «Північна електроенергетична система» розташована на території Харківської, Сумської і Полтавської областей.

Передача електричної енергії (ЕЕ) в РЕЕС реалізована лініями електропередачі (ЛЕП) на високих напругах (в Україні 220, 330, 500 і 750 кВ ці лінії утворюють магістральні електричні мережі).

До складу підсистеми «Розподіл електричної енергії» входять електроенергетичні компанії рівня обленерго. Вони отримують ЕЕ від електричних станцій та підстанцій (ПС) РЕЕС і розподіляють її між електроспоживачами, що розташовані на території відповідної області. В Україні розподіл реалізовано ЛЕП на напругах 110, 35, 10(6) та 0,4 кВ.

До системи «Споживання електричної енергії» в структурі ОЕС України входять споживачі ЕЕ (населені пункти та промислові підприємства). Відповідно кожний населений пункт та кожне підприємство отримують ЕЕ від електричних мереж обленерго, на території якої вони розташовані.

1.3 Основні поняття і визначення

Визначення основних понять в електроенергетиці надають у затверджених нормативних документах – законах, державних стандартах [4–6], правилах [7–9], державних будівельних нормативах (ДБН) [10] тощо. Зокрема, у ДСТУ 3465-96 [4] подано таке визначення **електропостачальної**

системи загального призначення – «сукупність електричних установок, призначених для виробництва, передавання, перетворення та розподілу електричної енергії» [4].

У процесі дослідження системи важливо з'ясувати її **основну функцію**. Основна функція системи дуже часто стає зрозумілою з назви системи. У загальному випадку люба система має певну множину функцій, серед яких важливо з'ясувати основну з цієї множини. Усі інші будуть підфункціями (складовими) основної функції.

Основна функція енергетичної системи – вироблення електричної і теплової енергії та передавання цих видів енергії до споживачів. Іншими словами – забезпечення споживачів електричною та тепловою енергіями.

Основна функція електричної системи (для систем які досліджуються в нашій дисципліні) – вироблення електричної енергії та передавання її до споживачів. Іншими словами – забезпечення споживачів електричною енергією.

На території міст і у сільській місцевості розташовані різноманітні об'єкти (споживачі), які використовують електричну енергію для реалізації технологічних процесів. Електроспоживачі розміщаються в будівлях і спорудах на території підприємств, будівельних майданчиків, житлових будинків тощо. Основна питома вага в споживанні електричної енергії припадає на міста, на території яких розташовані великі промислові підприємства і проживає більша частина населення країни.

У складі системи електропостачання об'єктів ми виділяємо наступні групи електроустановок: з виробництва електроенергії – *електричні станції*; з перетворення і розподілу електроенергії – *електричні підстанції*; з транспортування (розподілу) електроенергії – *лінії електропередачі* (ЛЕП); з споживання електроенергії – *споживачі й приймачі електроенергії*.

Тлумачення основних понять і термінів щодо систем електропостачання та систем електроспоживання наведені у Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) [7], державних будівельних нормах [10], інструкціях і

методичних рекомендаціях з проєктування, улаштування й експлуатації електроустановок [8, 9, та ін.]. Розглянемо деякі з базових термінів.

Під електричною установкою розуміють «комплекс взаємопов'язаних машин, апаратів, ліній та допоміжного обладнання (разом з будівлями і приміщеннями, в яких їх встановлено), призначених для виробництва, трансформації, передавання, розподілу електричної енергії і перетворення її в інший вид енергії» [8].

Електричною станцією (ЕС) називається «енергоустановка, призначена для вироблення електроенергії чи електроенергії та тепла, яка складається із споруд та обладнання для перетворення енергії та допоміжного обладнання» [11].

Залежно від виду первинної енергії розрізняють теплові, гідравлічні, повітряні, атомні електричні станції.

Електрична (трансформаторна) підстанція (ТП) – «електроустановка, призначена для приймання, перетворення та розподілення електричної енергії. ТП складається з трансформаторів чи інших перетворювачів електричної енергії, розподільчих та керувальних установок і допоміжних пристроїв» [4].

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називають «апарат, агрегат, механізм призначений для перетворення електричної енергії на інший вид енергії (механічну, теплову, хімічну, світлову, енергію електростатичного чи електромагнітного полів)» [7].

За технологічним призначенням приймачі електричної енергії розрізняють залежно від виду енергії, на яку цей приймач перетворює електричну енергію: електродвигуни приводів машин і механізмів, електротермічне обладнання, електрохімічні, пристрої електростатичного і електромагнітного полів, електрофільтри та ін. Електроприймачі характеризуються номінальними параметрами: напругою, струмом, потужністю та ін.

«Електроприймач або група електроприймачів, об'єднаних технологічним процесом, розташованих на певній території і приєднаних електричними мережами до спільного пункту живлення називається **електроспоживачем**» [7].

«Сукупність електричних станцій, електричних та теплових мереж, з'єднаних між собою і пов'язаних загальним режимом у безперервному процесі виробництва, перетворення й розподілення електроенергії та тепла за умови загального керування цим процесом» [11] називається **енергетичною системою**.

Частина енергетичної системи, яка об'єднує електричне устаткування для передачі і розподілу електроенергії на визначеній території і включає підстанції й розподільні пристрої, з'єднані лініями електропередачі, називається **електричною мережею**.

Схему виробництва електричної енергії показано на рисунку 1.2 [1]. Електрична енергія, вироблена генератором електричної станції G, через підвищувальний трансформатор підстанції ТП, потрапляє в магістральні лінії електропередачі енергосистеми. Генерація, залежно від виду електростанції і її потужності, відбувається на напругах 6,3; 10,4 або 20,5 кВ. На підстанції ТП вона підвищується до 110, 330, 500, 750 кВ, що забезпечує зменшення втрат електроенергії під час її передачі на великі відстані (сотні км).

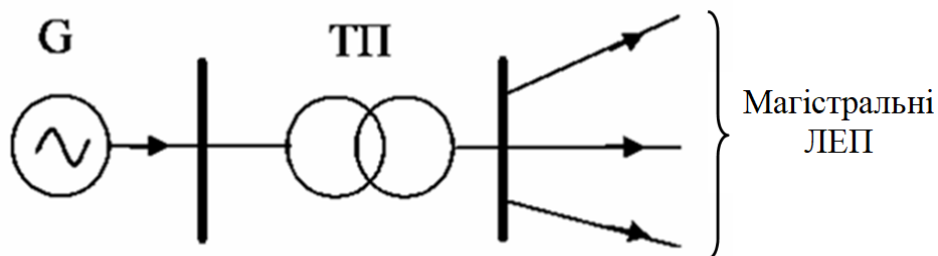


Рисунок 1.2 – Схема виробництва електричної енергії

Під **системою електропостачання** розуміють сукупність електричних мереж і трансформаторних підстанцій, розташованих на певній території і призначених для електропостачання споживачів цієї території.

Система електропостачання міста забезпечує електричною енергією всіх споживачів на території міста: адміністративні, комунально-побутові й житлові будинки, промислові підприємства, електричний транспорт тощо.

Малі міста і селища міського типу, розташовані біля великих

промислових підприємств, найчастіше одержують електроенергію від системи електропостачання підприємств, а промислові підприємства, що розташовані у великих містах зазвичай отримують електроенергію від системи електропостачання міста. Тому в більшості випадків системи електропостачання міст і промислових підприємств тісно пов'язані й безпосередньо впливають одна на одну.

Система електропостачання обмежена, з одного боку, джерелами живлення, з другого – вводами електричних мереж до споживачів. Основні показники системи визначаються місцевими умовами: розмірами міста споживача ЕЕ (міста, підприємства тощо), наявністю джерел живлення, характеристиками споживачів і т. ін.

На рисунку 1.3 показано фрагмент схеми системи електропостачання міста, де джерелами живлення є місцева електростанція ЕС-1 і районна знижувальна підстанція ПС-2 (рис. 1.4), яка отримує електроенергію від енергосистеми. Зазвичай ці джерела використовуються також і для електропостачання промислових підприємств, розташованих на території міста. Живлення електроспоживачів міста забезпечують розподільними мережами з напругою 10(6) кВ й 0,4 кВ. Трансформаторні підстанції (ТП) живлять розподільну мережу загального користування 0,4 кВ (400/230 В), схема будови якої залежить від характеру електроспоживачів.

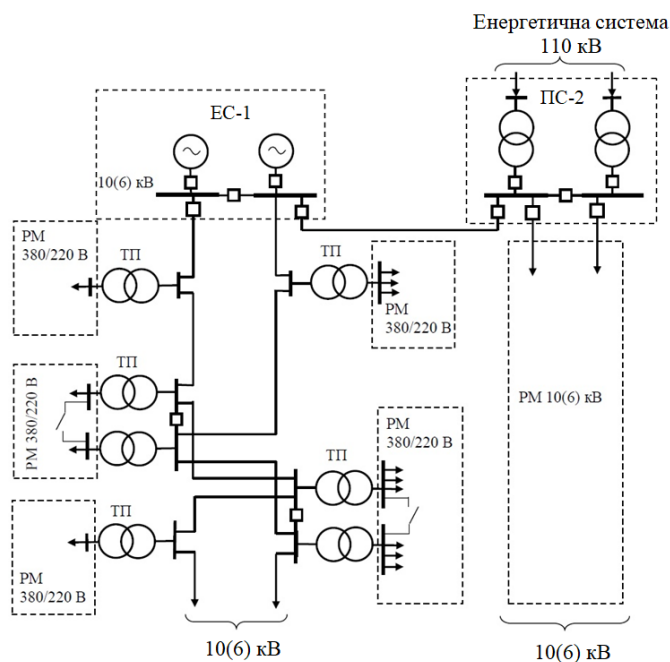


Рисунок 1.3 – Фрагмент схеми системи електропостачання міста



Рисунок 1.4 – Районна підстанція 110/10 кВ

1.3.1 Системи електропостачання та системи електроспоживання

Ми будемо розглядати терміни «Система електропостачання» (СЕР) та «Система електроспоживання» (СЕС) як сукупність технічних об'єктів, які функціонують в межах системи «Об'єднана енергетична система України». Зазначимо, що в нашому курсі названі системи розглядаються лише як *технічні об'єкти*. Розгляд інших аспектів цих систем (персонал, адміністрація тощо) виходить за межі нашого курсу.

Систему електропостачання розглядаємо як сукупність електротехнічного обладнання, основною функцією якого є забезпечення споживача електричною енергією. До складу системи електропостачання відносимо:

- джерело ЕЕ, потужність якого достатня для забезпечення споживача електричною енергією згідно з режимом його роботи;
- електричну мережу від джерела ЕЕ до її споживача (приймача);
- введення до споживача (приймача) ЕЕ.

«Приймач електричної енергії (електроприймач) – апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії в інший вид енергії» [7].

«Споживач електричної енергії (СЕЕ) – електроприймач або група електроприймачів, об'єднаних технологічним процесом, які розміщуються на певній території» [7].

На підприємствах СЕЕ поєднує групу електроприймачів технологічної установки, цеху, корпусу або підприємства в цілому, на підставі їхніх характерних функцій (ознак). Наприклад, характерною функцією деякого промислового підприємства є виробництво певної продукції. Саме підприємство в цілому може розглядається як СЕЕ, до складу якого входять інші електроспоживачі (цехи, дільниці), розташовані на відповідній території (підприємства, цеху, дільниці).

У містах СЕЕ є будинки (житлові, громадського призначення тощо), мікрорайони, райони. Місто в цілому також є споживачем електричної енергії.

1.4 Структура електричних мереж у містах

Система електропостачання міських споживачів, особливо на території великих міст, являє собою сукупність багатьох ТП та електричних мереж різних напруг (рис. 1.5). Джерелом живлення цієї системи є місцеві електростанції, понижуючі підстанції з розподільними пристроями, а також власні стаціонарні і пересувні електричні станції.

Загальну систему електропостачання міста умовно поділяють на дві частини. До першої відносять електричні мережі та знижувальні підстанції 35–110 кВ (зона А на рис. 1.5). Сукупність цих мереж називають **електропостачальними мережами**. Збірні шини 10(6) кВ підстанцій є **центрами живлення (ЦЖ)** міських електроспоживачів. Електропостачальні мережі виконують функцію розподілу ЕЕ між районами міста.

До другої частини системи електропостачання відносять **мережі живлення 10(6) кВ та мережі розподілу 0,4 кВ** (зони Б, В, Г, Д на рис. 1.5). Ця частина системи електропостачання призначена для розподілу енергії безпосередньо між електроспоживачами. Межі цієї частини починаються на збірних шинах 10 (6) кВ центрів живлення і закінчуються на вводі до споживача (підключення до ввідно-розподільного пристрою (ВРП) споживача).

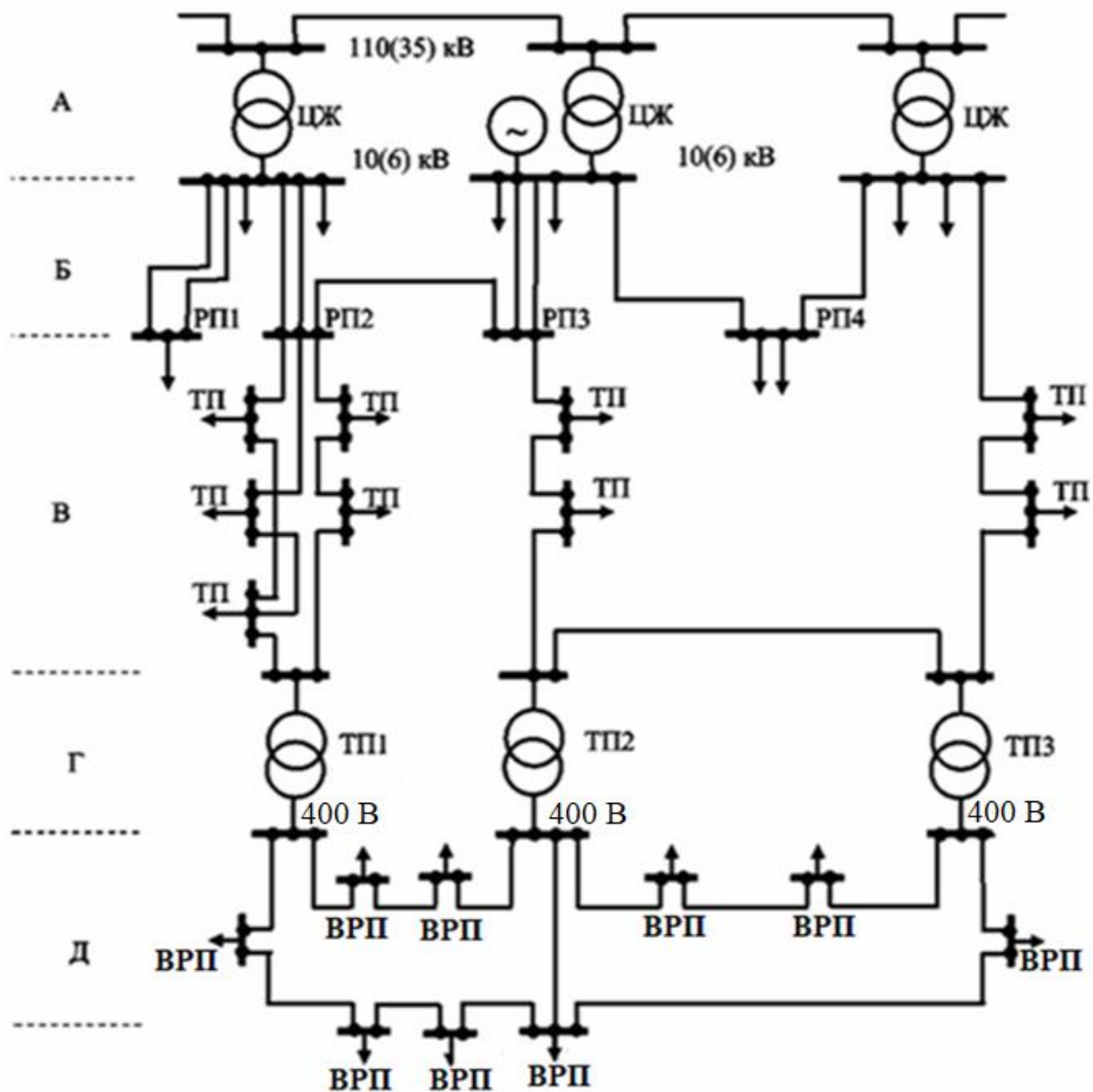


Рисунок 1.5 – Фрагмент системи електропостачання міста [1]

Для великих міст побудову мережі 10(6) кВ виконують за дволанцюговим принципом: мережі живлення 10(6) кВ (зона Б на рис. 1.5), мережі розподілу такої ж напруги (зона В на рис. 1.5).

Цей принцип передбачає спорудження так званих розподільних пунктів. **Розподільним пунктом (РП)** міської електричної мережі називається електроустановка, призначена для приймання та розподілу електричної енергії на одній без перетворення напруги (зазвичай 10(6) кВ або 20 кВ). РП є ключовим елементом у міських мережах, який з'єднує живильні лінії від понижувальних підстанцій (110/10 кВ або 35/10 кВ) з розподільчими лініями,

що йдуть до трансформаторних підстанцій (ТП 10/0,4 кВ). На рисунку 1.5 показані розподільні пункти РП1 – РП4.

Розподільною мережею 10(6) кВ відбувається живлення ТП, котрі слугують для живлення розподільної мережі 0,4 кВ загального користування. На рисунку 1.5 це ТП1 – ТП3 (зона Г), які здійснюють живлення ВРП окремих електроспоживачів.

Головним завданням міських електромережевих підприємств є забезпечення споживачів електричною енергією нормованої якості при необхідному ступені надійності.

Для транспортування і розподілу електроенергії застосовують повітряні або кабельні ЛЕП високої та низької напруги. До ліній високої напруги відносять лінії з напругою понад 1 000 В, до ліній низької напруги – лінії з напругою до 1 000 В. Характеристики ЛЕП різного призначення наведені у таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Характеристики ЛЕП різного призначення

Сфера застосування та основне призначення	Номінальна напруга, кВ	Потужність передачі, МВА	Довжина лінії, км
1	2	3	4
Електропостачання окремих приймачів, розподіл електричної енергії усередині підприємств.	до 1	до 0,1	до 0,3
Електропостачання промислових та сільськогосподарських споживачів, розподіл електричної енергії усередині крупних підприємств.	1–10	0,1–3	15–30
Розподіл електричної енергії у містах і великих населених пунктах, великих віддалених будівельних майданчиках і сільських об'єктах.	20–35	2–15	30–100
Розподіл електричної енергії усередині енергосистем і підприємств електричних мереж, електропостачання віддалених сільських споживачів і віддалених промислових комплексів, розподіл електричної енергії усередині великих міст.	110, 150	15–100	100–300

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Розподіл електричної енергії усередині крупних енергосистем, електропостачання віддалених крупних і віддалених споживачів від енергосистем і електричних станцій.	220, 330	110– 600	300–1 000
Магістральні ЛЕП	500, 750	понад 600	понад 1 000

1.4.1 Види електричних мереж

За характером приймачів і призначенням території, на якій вони розташовані, розрізняють електричні мережі міст (міські електричні мережі), промислових підприємствах (промислові електричні мережі), сільські електричні мережі, мережі електричного транспорту.

Розрізняють також: **районні електричні мережі**, які призначені для з'єднання потужних електричних станцій і підстанцій на напругах вище 35 кВ; **мережі міжсистемних зв'язків**, які з'єднують електроенергетичні системи на напругах 330, 500 і 750 кВ.

Розрізняють також розподільні і живильні електричні мережі.

Електричне обладнання, що застосовується в електричних системах, характеризується номінальною напругою. При номінальній напрузі електроустановки працюють в нормальному економічному режимі.

Номінальна напруга мережі співпадає з номінальною напругою її споживачів.

Первинні обмотки трансформаторів (незалежно від того, підвищувальні вони чи знижувальні) виконують роль споживачів електроенергії, тому їх номінальна напруга приймається рівною номінальній напрузі електроприймачів.

Генератори електростанцій і вторинні обмотки трансформаторів знаходяться на початку мережі, яку вони живлять, і їх напруги повинні бути вище номінальної напруги приймачів на величину втрат напруги в мережі. Номінальну напругу вторинних обмоток трансформаторів приймають на 5–10 %

вище номінальної напруги електроприймачів.

Значення напруг електричних мережах наведені в таблиці 1.2 [1].

Таблиця 1.2 – Номінальні напруги електричних мереж

Номінальні напруги приймачів і мережі, кВ	Номінальні міжфазні напруги на зажимах, кВ		
	генераторів	трансформаторів	
		первинні обмотки	вторинні обмотки
0,22	0,23	0,22	0,23
0,38	0,4	0,38	0,4
0,66	0,69	0,66	0,69
6	6,3	6	6,3
10	10,5	10	10,5
20	21	20	22
35	–	35	38,5
110	–	110	115
220	–	220	230
330	–	330	347
500	–	500	–
750	–	750	–

1.5 Взаємодія споживачів і джерел електричної енергії

Повертаючись до розгляду структури системи «Електроенергетика» важливо звернути увагу на таке:

– електроспоживачі і електроприймачі є останніми елементами цієї системи з погляду процесу виробництва, передачі, розподілу і споживання електричної енергії;

– для реалізації своєї основної функції (виробництва певної продукції) електроспоживачі мають потребу в електричній енергії, якість якої має відповідати певним вимогам;

– системи виробництва, передачі і розподілу мають забезпечувати споживачів електричною енергією, яка відповідає вимогам якості.

На рисунку 1.6 показано один з можливих варіантів структури підсистеми «Електропостачання споживачів» у складі певної системи електропостачання для випадку наявності електроспоживачів I і III категорій [3].

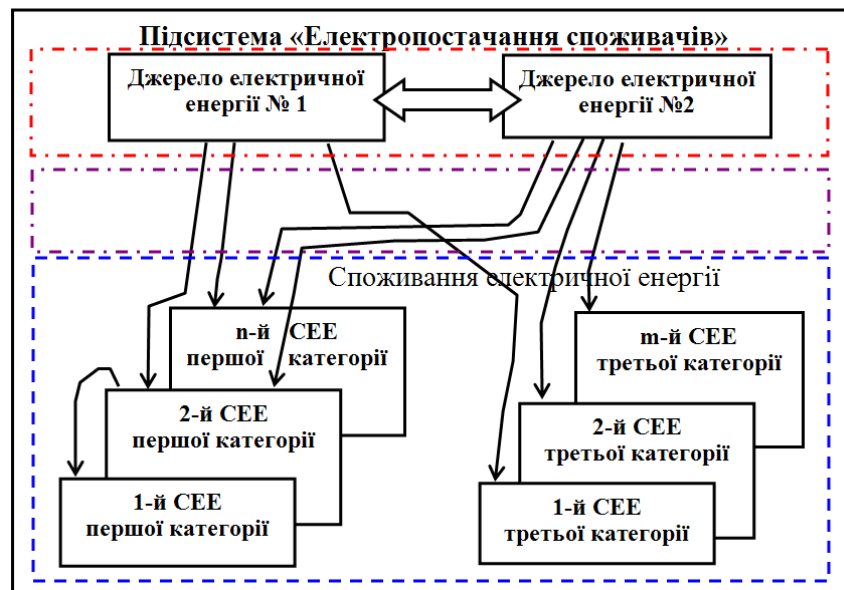


Рисунок 1.6 – Підсистема «Електропостачання споживачів»

Розглядаючи підсистему «Електропостачання споживачів» як систему, до її структури включаємо такі складові:

- джерела електричної енергії – трансформаторні підстанції, електростанції місцевого значення;
- елементи підсистеми розподілу електричної енергії – лінії електропередачі та розподільні пункти;
- підсистему «Споживання електричної енергії», у складі якої деяка множина споживачів і приймачів електричної енергії.

Виділення підсистеми «Електропостачання споживачів» в окрему систему в межах надсистеми «Електроенергетика» дає змогу зосередитися на питаннях дослідження процесів забезпечення споживачів електричною енергією, яка відповідає вимогам до її якості, а також на питаннях впливу споживачів на показники якості електричної енергії в системах її розподілу, передачі, і в системі «Електроенергетика» в цілому. Кожна з систем розподілу електричної енергії в межах ОЕС України містить певну кількість підсистем

«Електропостачання споживачів», і при вивченні впливу електроспоживачів і електроприймачів на процеси в системах розподілу, передачі і виробництва електричної енергії доцільно виділити споживача (групу споживачів) зі своїми джерелами живлення в окрему підсистему і дослідження проводити в межах цієї підсистеми.

Зазначимо, що в курсі «Споживачі електричної енергії» з погляду структури системи «Електроенергетика» розглядаються процеси взаємодії систем розподілу і споживання електричної енергії. Процеси і взаємодія систем виробництва, передачі і розподілу електричної енергії розглядаються в інших курсах: електричні станції та підстанції, електричні мережі та системи, релейний захист і автоматика та ін.

Контрольні запитання до теми 1

1. Що розуміють під електричним устаткуванням (електричною станцією, підстанцією)?
2. Охарактеризуйте електричні приймачі.
3. Охарактеризуйте систему електропостачання міста.
4. Які центри живлення в системах електропостачання міст?
5. Чим відрізняються мережі живлення від мереж розподілу електроенергії?
6. Наведіть ознаки класифікації електричних мереж.
7. Які значення номінальних напруг встановлені для електричних мереж?
8. Якою є залежність між потужністю передачі і номінальною напругою ЛЕП?

ТЕМА 2

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ

2.1 Категорії електроприймачів

За ступенем надійності електропостачання приймачі електричної енергії (електроустановки будинків, будівель і підприємств) поділяють на три категорії [7, 10].

«Електроприймачі I категорії – електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток споживачам електричної енергії (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства» [7].

«У складі електроприймачів I категорії виділяється **особлива група** електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації» [7].

До електроприймачів II категорії відносять електроприймачів, «перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів» [7].

Усіх інших електроприймачі, які не підпадають під визначення I і II категорій відносять до **електроприймачів III категорії**.

Електроприймачі I категорії отримують електричну енергію «від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерву їх електропостачання в разі порушення електропостачання від одного з джерел живлення можна допускати лише на час автоматичного відновлення

живлення» [7].

Незалежним джерелом живлення вважається джерело живлення, на якому зберігається напруга в межах, регламентованих ПУЕ для післяаварійного режиму, при зникненні її на іншому або інших джерелах живлення цих електроприймачів.

Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії передбачається додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервованого джерела живлення. Такими джерелами живлення можуть бути дизельні електростанції, акумуляторні батареї.

Електропостачання приймачів II категорії надійності здійснюється від двох незалежних взаєморезервованих джерел. Перерва в їхньому електропостачанні допускається на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом або виїзною оперативною бригадою.

Електропостачання приймачів III категорії може здійснюватися від одного джерела живлення за умови, що перерва електропостачання, необхідна для ремонту і заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби.

У містах найбільш характерними електроприймачами I категорії є [10]:

« – електроприймачі операційних і пологових блоків, відділень анестезії, реанімації та інтенсивної терапії, кабінетів лапароскопії, бронхоскопії й ангіографії та інші, від безперервної роботи яких безпосередньо залежить життя хворих;

– електроприймачі протипожежного устаткування, сигналізація загазованості, лікарняні ліфти, аварійне освітлення, охоронна сигналізація лікувально-профілактичних та санаторних закладів;

– електроприймачі протипожежного устаткування, сигналізація загазованості, ліфти, аварійне і евакуаційне освітлення, вогні світлового огороження у житлових, громадських будинках і гуртожитках заввишки понад 16 поверхів;

– електроприймачі протипожежного устаткування, сигналізація загазованості, ліфти, аварійне і евакуаційне освітлення, охоронна сигналізація у будинках установ, організацій, офісів з чисельністю працюючих понад 2 000 осіб, незалежно від кількості поверхів;

– електроприймачі протипожежних установок, сигналізація загазованості, ліфти, аварійне і евакуаційне освітлення, охоронна сигналізація у готелях (мотелях), будинках відпочинку, пансіонатах і турбазах з кількістю місць понад 1 000 або в будівлях понад 16 поверхів заввишки, незалежно від кількості місць;

– електроприймачі протипожежних установок, сигналізація загазованості, аварійне освітлення, охоронна сигналізація у будинках навчальних закладів, у яких навчається понад 1 000 осіб;

– електроприймачі протипожежних установок, сигналізація загазованості, аварійне освітлення, охоронна сигналізація у будинках культурно-видовищних закладів, закладів дозвілля, культових закладів, критих спортивних споруд» [10].

До електроспоживачів II категорії відносять [10]:

« – житлові будинки до 16 поверхів заввишки включно з електроплитами і електроводонагрівачами для гарячого водопостачання, за винятком одно-восьмиквартирних будинків;

– житлові будинки понад 5 поверхів заввишки з плитами на природному, скрапленому газі або твердому паливі;

– будинки гуртожитків до 16 поверхів заввишки та загальною місткістю понад 50 осіб;

– будинки установ, організацій, офісів до 16 поверхів заввишки включно з чисельністю робітників від 50 до 2 000 осіб;

– готелі (мотелі), будинки відпочинку, пансіонати і турбази з кількістю місць від 200 до 1 000;

– медичні заклади, аптеки;

– будинки навчальних закладів, в яких навчається від 200 до 1 000 осіб;

– електроприймачі протипожежних установок, сигналізація загазованості, аварійне освітлення, охоронна сигналізація універсамів, торговельних центрів і

магазинів з торговими залами загальною площею понад 2 000 м²;

- торговельні заклади з торговою площею від 250 м² до 2 000 м² включно;

- заклади громадського харчування з кількістю посадкових місць від 100 до 500 включно;

- деякі інші [10].

До міських електроспоживачів III категорії відносять [10]:

- житлові будинки до 5 поверхів заввишки включно з плитами на природному, скрапленому газі або твердому паливі;

- житлові одно- восьми квартині будинки, в тому числі з електроплитами і електроводонагрівачами для гарячого водопостачання;

- будинки гуртожитків заввишки до 5 поверхів загальною місткістю до 50 осіб включно;

- будинки навчальних закладів, в яких навчається до 200 осіб включно;

- готелі, будинки відпочинку, пансіонати і турбази з кількістю місць до 200 включно [10].

Повний перелік електроприймачів будинків і споруд, що відносяться до I, II і III категорій надійності електропостачання наведено у [10].

2.2 Загальна характеристика електроприймачів міст

Територію міст і населених пунктів за призначенням поділяють на кілька зон:

- промислову, в якій розміщені промислові, енергетичні та інші підприємства, а також пов'язані з ними транспортні та інші об'єкти;

- сельбищну, в якій розміщені житлові райони, мікрорайони, громадські будинки та споруди;

- комунально-складську, в якій розміщуються склади, гаражі, трамвайно-тролейбусні та автобусні парки, автобази тощо;

- зовнішнього транспорту, в якій розміщуються вокзали, порти, пристані і т. ін.;

– місця відпочинку населення, які відводяться в межах населеного пункту.

Основною структурною одиницею сільбищної зони є мікрорайон, на території якого розміщуються житлові будинки, дитячі та освітні заклади, підприємства культурно-побутового та комунального призначення для обслуговування населення мікрорайону. Чисельність населення мікрорайону зазвичай становить від 6 до 12 тис. осіб, а при висотній забудові – до 16 тис. осіб.

Мікрорайони об'єднують у житловий район із чисельністю населення 24–36 тис. осіб, а при висотній забудові – до 60 тис. осіб.

Житловий район зазвичай має громадський центр, до складу якого входять театри, кінотеатри, торговельні центри (рис. 2.1) та інші культурно-побутові заклади для обслуговування населення житлового району.



Рисунок 2.1 – Приклад будівлі торговельно-розважального центру [1]

За характером електропостачання і призначенням усі споживачі електричної енергії міста поділяють на такі групи:

- споживачі сільбищних зон;
- промислові споживачі;
- комунальні загальноміські споживачі (водопровід, водовідведення, міський електротранспорт);
- споживачі приміських районів.

Споживачі сельбищної зони також поділяють на такі групи:

- електроприймачі квартир;
- електроприймачі загальнобудинкового призначення;
- електроприймачі громадських і культурно-побутових підприємств, а також установ сельбищної зони.

2.2.1 Електроприймачі квартир

Характерними приймачами електроенергії у квартирах є: електричне освітлення, електронагрівальні прилади, холодильники й морозильні камери, кондиціонери, пральні машини, радіоприлади, дрібні побутові прилади.

Електричне освітлення. Для електричного освітлення квартир використовують переважно лампи розжарювання потужністю 40–150 Вт у вигляді однолампових або багатолампових світильників. Останнім часом поширені люмінесцентні енергоощадні лампи потужністю 5–30 Вт, споживання електричної енергії яких у середньому в 5 разів менше порівняно з лампами розжарювання при забезпеченні аналогічного рівня освітленості.

Коефіцієнт потужності ламп розжарювання $\cos\varphi = 1$, люмінесцентних ламп – 0,5–0,6 (якщо вони не мають компенсувальних конденсаторів, вмонтованих у світильник).

Електронагрівальні прилади. До цієї групи належать пересувні (електрочайники, кип'ятильники, електрокаміни тощо) та стаціонарні (кухонні плити, водонагрівачі, електроопалювальні печі тощо) прилади. Потужність пересувних приладів 0,5–1,5 кВт, вмикаються вони у звичайні розетки, розраховані на струм до 6–10 А. Потужність стаціонарних приладів – від 3 кВт до 25 кВт, вмикаються вони в електромережу за допомогою спеціальних розеток більшої потужності (16 або 25 А) з третім (заземлювальним) контактом. Коефіцієнт потужності електронагрівальних приладів $\cos\varphi = 1$.

Крім електроопалювальних печей, використовуються також інші прилади (електроплінтуси, електрорадіатори, електрокалорифери, електронагрівальні панелі, а також електронагрівальні кабелі), які прокладаються у стінах, підлогах

і стелях. Питома потужність при електричному обігріванні підлоги електрокабелями складає 120–150 Вт/м², при цьому 1 м довжини кабелю повинен мати потужність не більшу за 20–25 Вт, щоб температура підлоги, з гігієнічних міркувань, не перевищувала 25–27 °С.

До теплових приладів відносять також теплові насоси та кондиціонери, призначені для забору теплоти від більш нагрітого середовища і передачі його менш нагрітому середовищу. Завдяки забору теплоти від зовнішнього середовища кількість теплоти, що віддається, у 2–4 рази перевищує кількість енергії, яка витрачається на роботу теплового насоса. Працюють ці пристрої або за типом компресійного холодильника, або використовуючи ефект Пельтьє у напівпровідниках.

Встановлена потужність теплових насосів і кондиціонерів складає 0,3–5 кВт.

Електрохолодильники. У квартирах використовують холодильники та морозильні камери компресійного типу з потужністю двигун-компресорного агрегату 160 Вт і добовою витратою електроенергії 0,8–1,2 кВт·год (залежно від об'єму холодильної камери) та адсорбційні холодильники з нагрівальними елементами потужністю 40–125 Вт і добовою витратою електроенергії 1,2–3,1 кВт·год (залежно від об'єму холодильної камери), коефіцієнт потужності $\cos\varphi \approx 0,8$.

Адсорбційні холодильники менш економічні за витратою електроенергії, але вони працюють безшумно, що є їх перевагою порівняно з компресійними, коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 1$.

Пральні машини. Використовуються машини різних типів. Сучасні пральні машини працюють у програмованому режимі автоматично і мають центрифуги для віджимання білизни та пристрої для підігрівання води. Встановлена потужність пральних машин 0,4–4 кВт. Коефіцієнт потужності $\cos\varphi \approx 0,6$.

Радіоприлади. До цієї групи належать телевізори, радіоприймачі, магнітофони, комп'ютери та інше обладнання, побудоване на базі використання

напівпровідникових приладів. Потужність радіоприладів зазвичай невелика: десятки – сотні ват.

Характерною особливістю телевізорів є їхня одночасність вмикання у часи вечірнього максимуму, що створює високе навантаження в системі електропостачання.

Дрібні побутові прилади. Це група різноманітних приладів: електричні м'ясорубки, сокодавилки, кавомолки, кавоварки, міксери, вентилятори, іонізатори, тощо. Потужність їх складає 30–250 Вт, $\cos\varphi = 0,2\text{--}0,6$. Вмикаються порівняно рідко і на короткий час.

Більш детальна характеристика електроприймачів будинків наведена у [3].

2.2.2 Загальнобудинкові електроприймачі

До цієї групи електроприймачів відносять:

- освітлення (коридори, сходи, технічні приміщення, горища, входи до будинків, зовнішнє освітлення);
- силові електроприймачі (електрообладнання ліфтів, вентиляції, підкачувальних і протипожежних насосних установок тощо).

Освітлення. Характерною особливістю загальнобудинкових освітлювальних пристроїв є їхня робота в нічні часи при збільшеній напрузі, що призводить до швидкого перегорання звичайних ламп. У зв'язку з цим для таких пристроїв випускаються лампи розжарювання на вищу напругу (237, 248 В). Строк експлуатації таких ламп значно зростає, але для освітлення квартир ці лампи використовувати не слід, тому що при нормальній напрузі 230 В світловіддача таких ламп дуже низька і це призводить до перевитрати електроенергії.

Люмінесцентні лампи менш чутливі до підвищення напруги, але їх використання для загальнобудинкових освітлювальних пристроїв затримується через високу вартість та неможливість запалювання при низьких температурах.

Силові електроприймачі. До цієї групи належать пасажирські й вантажно-пасажирські ліфти та різні санітарно-технічні пристрої. Пасажирські

ліфти у житлових будинках встановлюються двох типів: вантажопід'ємністю 350 кг та 500 кг. Перші з них мають електродвигуни потужністю 4–4,5 кВт, другі – 7–7,5 кВт. Двигуни зазвичай двошвидкісні. Крім того, ліфтова установка має гальмівний електромагніт і трансформатор для живлення системи керування. Шахти ліфтів освітлюються лампами розжарювання, вимикати які забороняється за правилами техніки безпеки незалежно від того, чи працює ліфтова установка, чи ні. Щоб лампи не перегорали при збільшеній напрузі у нічні часи, послідовно з ними включають діод.

Системи подавання повітря, видалення диму, протипожежного водопостачання та підкачки обладнують асинхронними короткозамкненими електродвигунами потужністю 0,6–10 кВт. Крім того, встановлюються допоміжні електроприводи з двигунами або електромагнітами для відкривання шиберів, димових ґраток, вентилів. Усі сантехнічні пристрої обладнують системами автоматичного або дистанційного керування. Встановлюють системи вентиляції, димовидалення та водоподання зазвичай тільки у висотних житлових будинках (понад 9 поверхів).

2.3 Технічні характеристики електроприймачів

Основними технічними характеристиками електроприймачів є номінальна напруга, встановлена (номінальна) потужність, коефіцієнт потужності.

Під номінальною напругою розуміють напругу мережі живлення в межах припустимих відхилень, при якій технічні й технологічні параметри електроприймача відповідають його паспортним значенням.

Зважаючи на напругу системи електропостачання усі електроприймачі можна поділити на п'ять груп:

- електроприймачі трифазного змінного струму напругою до 1 000 В, частотою 50 Гц;

- електроприймачі трифазного змінного струму напругою понад 1 000 В, частотою 50 Гц;
- електроприймачі однофазного струму частотою 50 Гц;
- електроприймачі постійного струму;
- електроприймачі, що працюють на частотах, відмінних від 50 Гц. При цьому частоти менші за 50 Гц називаються пониженими, понад 50 до 10 000 Гц – підвищеними, а понад 10 000 Гц – високими.

Усі споживачі електроенергії в нашій країні одержують від електростанцій і підстанцій енергосистем трифазний змінний струм певної напруги з частотою 50 Гц. Тому постійний струм і струм з частотами, відмінними від 50 Гц, одержують на самих підприємствах-споживачах з допомогою різноманітних перетворювальних агрегатів – як електромашинних, так і напівпровідникових. Величина напруги, необхідна для реалізації технологічних процесів, забезпечується використанням як трансформаторних підстанцій, так і окремих трансформаторів.

Встановлена (номінальна) потужність. Ця характеристика є основною вихідною величиною для всіх розрахунків системи електропостачання. За встановлену потужність приймають:

- для електродвигунів асинхронних і постійного струму $P_n = P_{\text{пасп}}$, де $P_{\text{пасп}}$ – паспортна потужність електродвигуна, яку він розвиває на валу за номінальної напруги;
- для синхронних електродвигунів $P_n = S_n \times \cos \varphi_n \times \eta_n$, де S_n , $\cos \varphi_n$ і η_n – повна потужність, коефіцієнт потужності та коефіцієнт корисної дії, вказані в паспорті електродвигуна;
- для електроприймачів опору (електропечі, праски) та освітлювальних приладів $P_n = P_{\text{пасп}}$, де $P_{\text{пасп}}$ – активна потужність, указана в паспорті.

2.4 Режими роботи електроприймачів

Розрізняють три режими роботи електроприймачів [3]: короткочасний, повторно-короткочасний і сталий (тривалий).

Короткочасним називається режим такої тривалості, при якій температура усіх елементів електроприймача при його роботі не досягає сталого значення і зменшується до температури навколишнього середовища під час паузи в роботі електроприймача (електродвигуни заслінок, кранів, підіймальних механізмів тощо) (рис. 2.2).

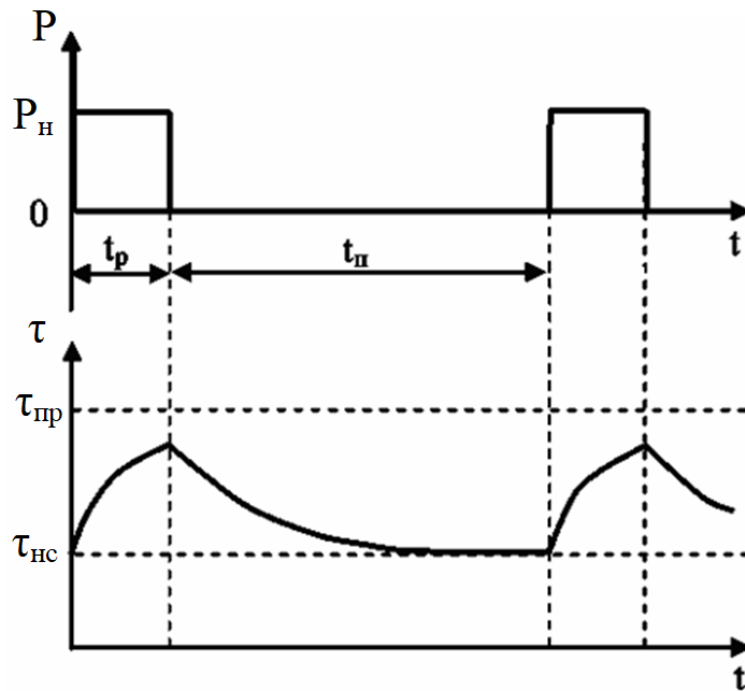


Рисунок 2.2 – Крива навантаження P і крива нагрівання та охолодження τ для короткочасного режиму: $\tau_{пр}$ – припустима температура за умовою нагрівання; $\tau_{нс}$ – температура навколишнього середовища; t_p – час роботи; t_{π} – час паузи

Повторно-короткочасний режим характеризується тим що під час вмикання t_p температура у приймачі підвищується, а під час пауз t_{π} зменшується. Але нагрівання за нормального навантаження не перевищує припустимої температури $\tau_{пр}$ для класу ізоляції приймача, а охолодження за час паузи не досягає температури навколишнього середовища $\tau_{нс}$. Після кількох циклів t_{π} вмикання коливання температури досягають значень τ_{max} і τ_{min} . (рис. 2.3).

Основною характеристикою повторно-короткочасного режиму роботи є відносна **тривалість вмикання TB (%)**, яка враховує тривалість робочого

циклу і визначає теплове навантаження приймача

$$TB = \frac{t_p}{t_p + t_n} 100 \%. \quad (2.1)$$

Державними стандартами встановлені наступні стандартні значення TB , які враховуються при розрахунках режимів роботи електрообладнання: 15; 25; 40 і 60 %.

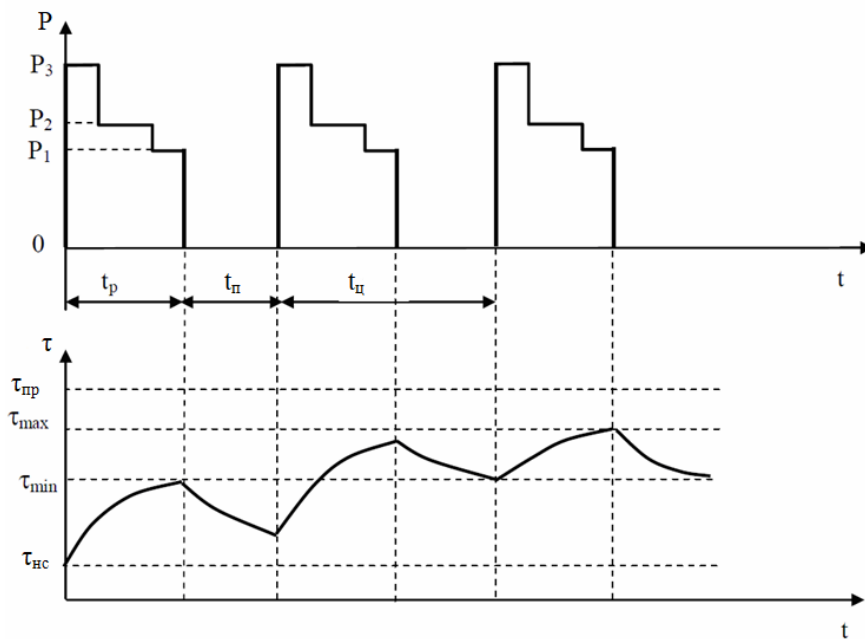


Рисунок 2.3 – Діаграма навантаження P і крива нагрівання та охолодження τ для повторно-короткочасного режиму

Сталим (тривалим) називають **режим** такої тривалості, за якої температура усіх частин електроприймача досягає сталого значення при незмінній температурі навколишнього середовища (рис. 2.4). У тривалому режимі працюють насоси, вентилятори, компресори, транспортери та ін.

При тривалості циклу понад 10 хвилин і $TB > 60 \%$ режим роботи електроприймача вважається сталим.

Розрізняють також і режими системи електропостачання. Вони визначається режимами енергосистеми та електроспоживачів.

Можливі наступні чотири режими системи електропостачання (електричної мережі):

– **нормальний сталий режим**, за якого напруги у вузлах мережі і струми в ЛЕП знаходяться у нормативних і розрахункових межах;

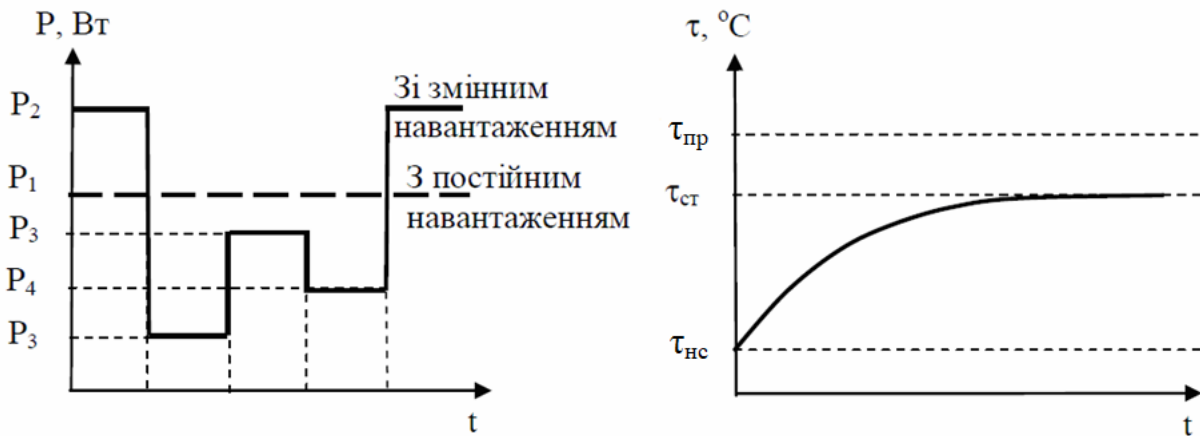


Рисунок 2.4 – Діаграма навантаження P і крива нагрівання та охолодження τ електроприймача у сталому режимі

– **нормальний перехідний режим**, пов'язаний з експлуатаційними змінами схеми електропостачання;

– **аварійний перехідний режим** з різкою зміною параметрів внаслідок аварійної зміни у схемі живильної енергосистеми або в схемі розподілу електроенергії;

– **післяаварійний сталий режим** виникає після аварійного вимкнення частини елементів схеми електропостачання.

2.5 Електричне освітлення

Значну частку серед електроприймачів складає електроосвітлювальне устаткування, яке відіграє важливу роль в забезпеченні нормального функціонування житлових будинків, будівель громадського призначення, реалізації технологічного процесу на підприємствах.

Правильна організація електричного освітлення має істотне значення для

успішного виконання роботи та створення комфортних умов у помешканнях. Недостатня освітленість робочого місця знижує продуктивність праці, погіршує якість роботи та, крім того, часто є причиною травматизму.

Достатність освітлення на тій або іншій площині або в тій або іншій точці визначається величиною **освітленості** (позначається латинською буквою *E*); одиниця виміру освітленості – **люкс** (лк).

Для виконання точних робіт в механічних майстернях за нормами потрібна освітленість в 100–150 лк, для читання – освітленість порядку 75 лк.

Будівельними нормами й правилами встановлені мінімальні величини освітленості, необхідні для тих або інших виробничих, службових і побутових приміщень. На їхній основі розроблені норми електричного освітлення будівельних і монтажних робіт (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Норми освітленості монтажних і будівельних робіт [12]

Найменування ділянок території та робочих операцій	Освітленість <i>E</i> , лк	Площина, у якій нормується освітленість	Примітка
Територія будівельного майданчика в районі впровадження робіт	2	Горизонтальна на рівні землі	Освітлення має бути багатобічним
Автодороги на території будівництва з інтенсивним рухом	3	Горизонтальна на рівні землі	—
Залізничні колії на території будівництва	0,5	—	—
Грабарства, вироблені землерийними механізмами	5–10	Горизонтальна, вертикальна	—
Монтаж будівельних конструкцій	25	Горизонтальна, вертикальна	—
Бетонування	25	На поверхні бетонних конструкцій	—
Опоряджувальні роботи	50	На робочій поверхні	—
Кранові й такелажні роботи	10	Горизонтальна	—
Складання й монтаж будівельних механізмів	50	Горизонтальна	Потрібні додаткові переносні освітлювальні засоби
Монтаж обладнання	50	На робочих поверхнях	Те ж

Освітлення може бути загальним, місцевим і комбінованим. При цьому загальне освітлення поділяють на рівномірне й локалізоване.

При загальному рівномірному освітленні освітлюється все приміщення або зовнішній майданчик, світильники встановлюють рівномірно. При загальному локалізованому освітленні на окремих ділянках приміщення або зовнішньої території створюється більша освітленість. На таких ділянках встановлюють додаткові світильники або їх розміщують більш часто. При місцевому освітленні освітлюють тільки робочі поверхні, при комбінованому – застосовують і загальне і місцеве освітлення.

Крім звичайного, робочого освітлення, влаштовують аварійне освітлення, що забезпечує мінімальну освітленість. Для аварійного освітлення організують окреме живлення.

2.5.1 Джерела світла і освітлювальна арматура

Джерела світла. Як джерела світла у будівництві й у промисловості застосовують лампи розжарювання і газорозрядні лампи, які поділяються на ртутні лампи низького тиску – люмінесцентні й ртутні лампи високого тиску – лампи ДРЛ.

У *лампах розжарювання* світлова енергія створюється завдяки нагріванню тонкої вольфрамової нитки електричним струмом, що проходить нею. Нитка вміщена у скляну колбу, заповнену інертним газом. Є також конструкції ламп розжарювання, в яких нитка вміщена у вакуум. Розпечена (при температурі порядку 3 000 °С) нитка яскраво світиться. Колба лампи укріплена на металевому різьбовому цоколі, за допомогою якого лампа ввертається у патрон, який служить для її приєднання до проводів електромережі. Лампи розжарювання випускають на напруги 230, 130, 36 і 12 В. На будівельних майданчиках зазвичай застосовують лампи на 230 В. Їх випускають потужністю від 15 Вт до 1 500 Вт. Лампи розжарювання для напруг 36 і 12 В випускають потужністю від 11 Вт до 100 Вт.

При зниженні напруги проти номінальної світловий потік і світловіддача

ламп розжарювання різко знижуються. Підвищення напруги понад 105 % номінальної значно зменшує термін експлуатації лампи.

Дія *газорозрядних ламп* заснована на електричному розряді в середовищі розрідженого газу. Порівняно з лампами розжарювання вони характеризуються меншим споживанням електричної енергії.

Люмінесцентна лампа (рис. 2.5, а) становить собою довгу (близько 450... 1 500 мм) скляну трубку з двома цоколями на кінцях, заповнену розрідженим газом – аргоном і невеликою кількістю парів ртуті. На внутрішню поверхню трубки нанесений шар спеціального складу – люмінофор. У цоколі лампи впаяні вольфрамові електроди. При вмиканні лампи в електричну мережу між її електродами в парах ртуті у трубці виникає газовий розряд і невидиме ультрафіолетове випромінювання, під впливом якого люмінофор починає світитися - дає яскраве видиме світло.

Люмінесцентні лампи вмикають у мережу за допомогою спеціальних пускорегулювальних апаратів (ПРА).

Люмінесцентні лампи випускають потужністю у 15, 20, 30, 40 і 80 Вт, п'яти типів за кольорами випромінюваного світла: ЛДЦ – денного світла, призначені для правильної світлопередачі; ЛД – денного світла; ЛХБ – холодного білого світла; ЛТБ – теплого білого світла й ЛБ – білого світла.

За світловіддачею на 1 Вт потужності усі люмінесцентні лампи значно (в 2,5–4 рази) перевершують лампи розжарювання. Найбільшу світловіддачу мають лампи білого світла (ЛБ), вони рекомендуються для освітлення усіх виробничих приміщень, крім тих, де потрібне правильне розрізнення колірних відтінків.

Ртутна лампа високого тиску типу ДРЛ за зовнішнім виглядом схожа на велику лампу розжарювання. Її будова показана на рисунку 2.5, б.

На відміну від люмінесцентної лампи, в лампі ДРЛ електричний розряд відбувається не у всій колбі, а в маленькій трубці («пальнику») з кварцового скла, прозорого для ультрафіолетових променів (рис. 2.5, б). Під впливом ультрафіолетового випромінювання пальника спеціальний люмінофор,

нанесений на внутрішню поверхню колби, дає яскраве, трохи зеленувате світло (близьке до білого).

Лампи ДРЛ мають різьбовий цоколь і вгвинчуються до тих же патронів, що й лампи розжарювання. Але у мережу вони вмикаються так само, як і люмінесцентні, за особливою схемою за допомогою спеціальних ПРА, що містять дросель, конденсатори, розрядники та ін.

Випускають лампи ДРЛ потужністю 250, 500, 750 і 1 000 Вт. Вони є високоекономічними джерелами світла.

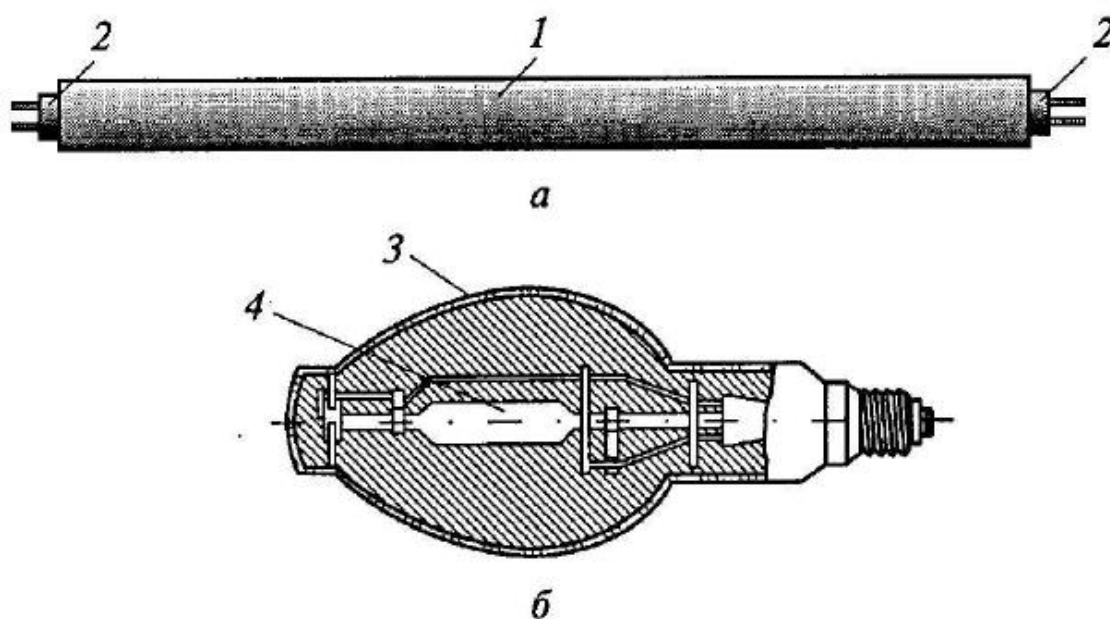


Рисунок 2.5 – Газорозрядні лампи:

а – люмінесцентна; *б* – ртутна; 1 – трубка; 2 – цоколь;

3 – балон лампи; 4 – пальник з кварцового скла

Освітлювальна арматура. Правильно організоване освітлення повинне створювати достатню освітленість для того, щоб око людини могло легко, не стомлюючись, розрізняти усі деталі, необхідні при певній роботі. Крім того, освітлення повинне бути якомога рівномірним, без різких тіней; джерело світла не повинне бути видимим безпосередньо оком (для того, щоб не було осліпливого впливу).

Для створення необхідних умов освітлення, що задовольняють вказаним вимогам, служить *освітлювальна арматура*.

Освітлювальна арматура разом з вміщеною до неї лампою називається *світильником*. Основні типи світильників, що застосовують в умовах промислових об'єктів, з лампами розжарювання, люмінесцентними й ДРЛ, наведені на рисунках 2.6–2.9.

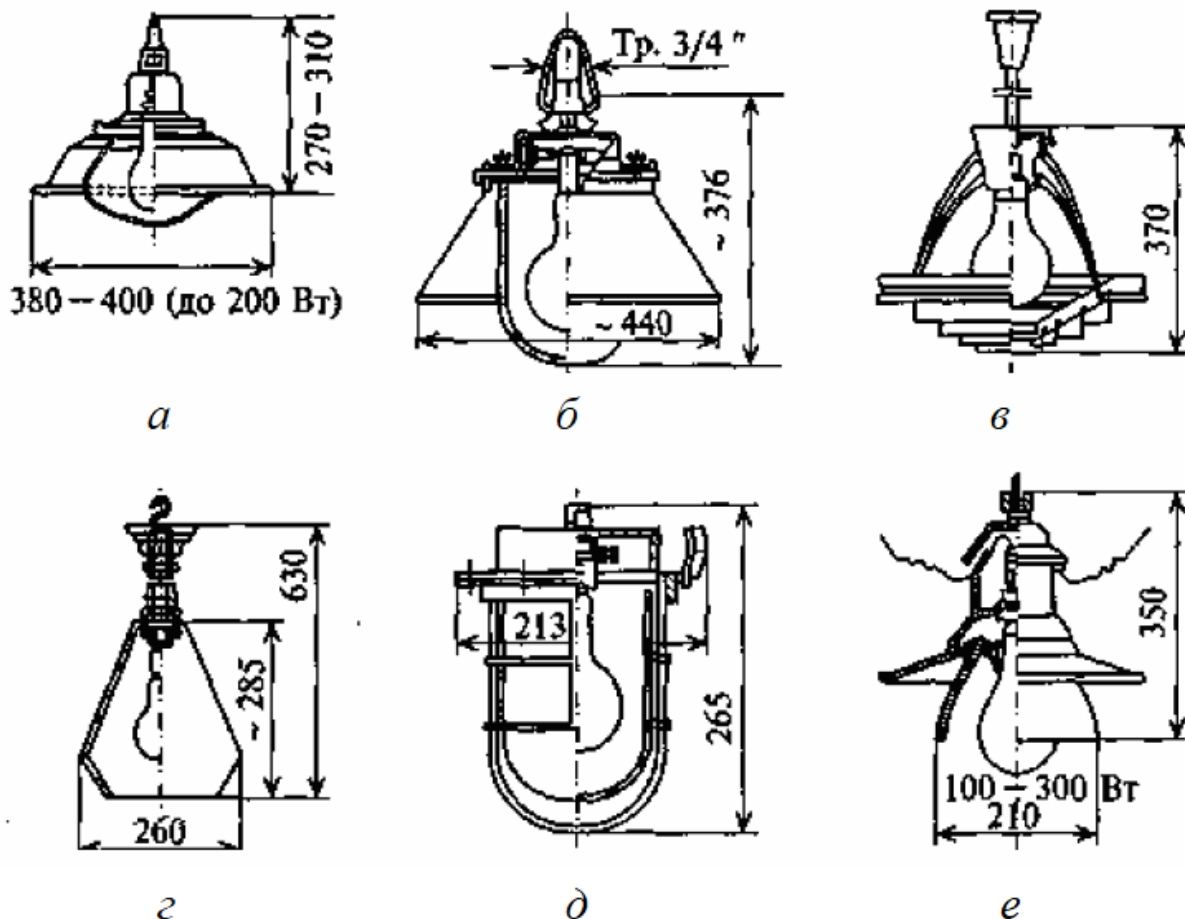


Рисунок 2.6 – Світильники з лампами розжарювання:

а – «Універсаль»; б – промисловий ущільнений (ПУ);

в – кільцевий типу ПМ-1; г – «Люцетта»; д – рудничний нормальний (РН-100); е – зовнішнього освітлення типу СПО

Світильники слугують для освітлення предметів, розташованих на відносно невеликих відстанях. Як освітлювальні прилади далекої дії застосовують прожектори різних типів. Для освітлення промислових і будівельних майданчиків служать прожектори заливаючого світла, які

працюють зі звичайними лампами розжарювання потужністю від 200 Вт до 1 000 Вт (рис. 2.9).

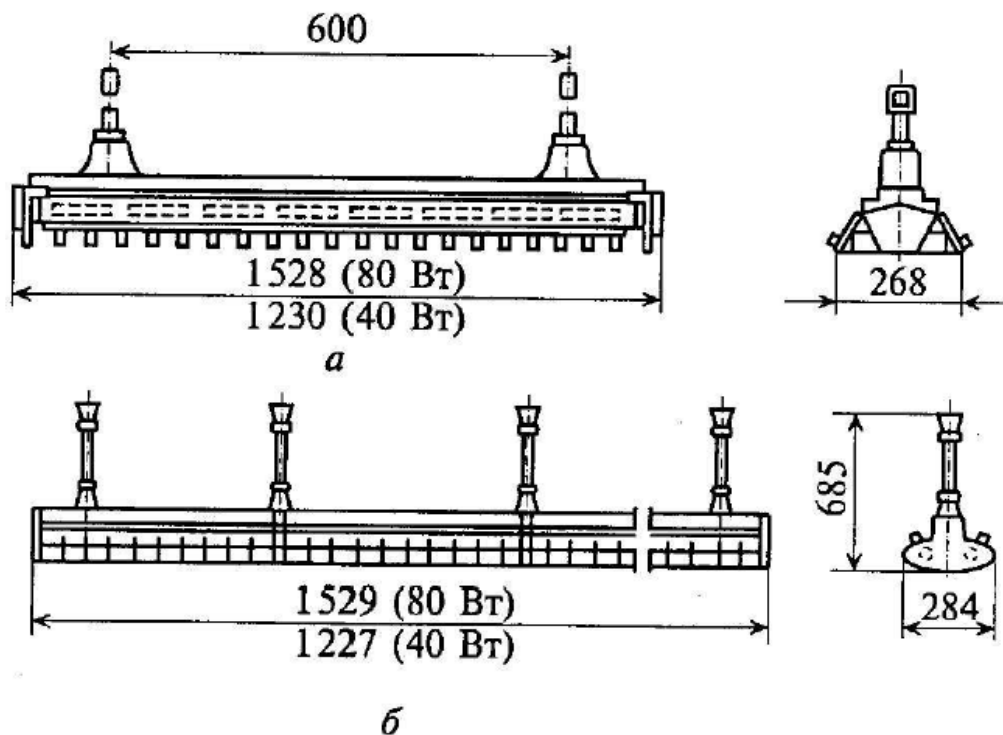


Рисунок 2.7 – Світильники з люмінесцентними лампами:

а – типу ОДР і ОДОР з двома лампами по 40 або 80 Вт;

б – типу ШЛД з двома лампами по 40 або 80 Вт

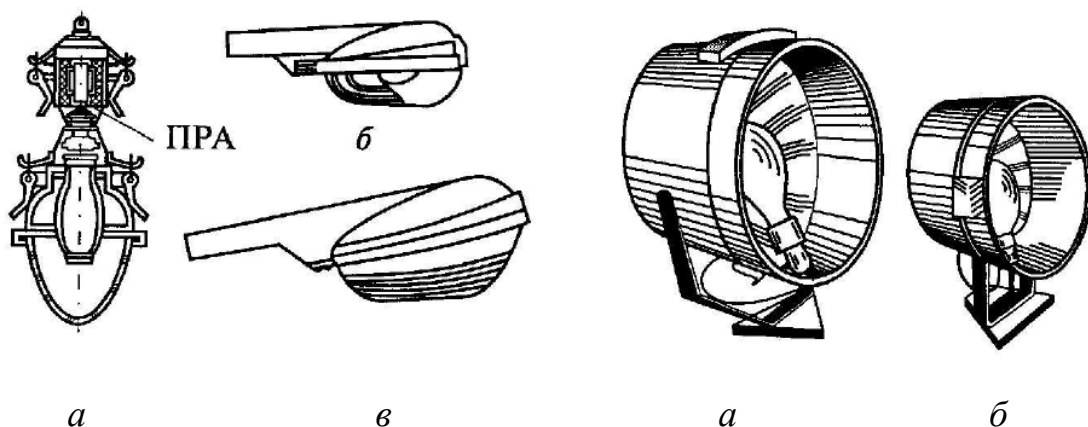


Рисунок 2.8 – Світильники для ртутних ламп типу ДРЛ:

а – підвісного типу;

б, в – консольного типу

Рисунок 2.9 – Прожектори заливного світла:

а – типу ПЗС-45 з лампою 1 000 Вт;

б – типу ПЗС-35 з лампою 500 Вт

2.5.2 Спрощені способи розрахунку освітлювальних установок

У низці випадків (за відсутності проєкту електричного освітлення) може трапитися необхідність визначення кількості й потужності освітлювальних приладів (прожекторів або світильників) для створення необхідної за нормами освітленості на тому або іншому майданчику території будівництва або в будь-якому приміщенні. Для цих цілей найбільш зручний простий метод розрахунку, що називається **методом питомої потужності**.

Розглянемо порядок розрахунку за цим методом. Дані щодо норм освітленості, якими необхідно керуватися під час розрахунку, наведені в таблиці 2.1.

Зовнішнє прожекторне освітлення. Кількість прожекторів, необхідна для освітлення заданої площі, за методом питомої потужності визначають за формулою

$$N = \frac{\omega \times E \times S}{P_{\text{л}}}, \quad (2.2)$$

де ω – питома потужність ламп для прожекторів, що припадає на 1 м² освітлюваної площі й 1 лк освітленості (її приймають для прожекторів ПЗС-35 рівною 0,25–0,4 Вт/(м² · лк), а для прожекторів ПЗС-45 рівною 0,25–0,3 Вт/(м² · лк));

E – освітленість, лк (див. табл. 2.1);

S – площа, що підлягає освітленню, м²;

$P_{\text{л}}$ – потужність лампи прожектора, Вт.

Приклад 1. Необхідно освітити прожекторами будівельний майданчик розміром 205 м × 100 м.

За даними таблиці 2.1 варто прийняти освітленість майданчика на рівні землі рівною 2 лк.

Тип прожекторів приймаємо ПЗС-35 з лампою 500 Вт.

Знаходимо освітлювальну площу: $S = 205 \times 100 = 20\,500$ м².

Питому потужність прожекторів (ω) приймаємо рівною 0,30 Вт/(м² · лк).

Визначаємо кількість прожекторів за формулою (2.2):

$$N = \frac{0,3 \times 2 \times 20\,500}{500} = 24,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо до установки 24 прожектори на шести щоглах висотою близько 13 м, розмістивши щогли по контуру майданчика.

Внутрішнє освітлення. Розрахунок загального освітлення усередині виробничих, адміністративно-управлінських та інших будинків, а також у приміщеннях споруджуваних будинків виконують аналогічно методом питомої потужності.

Дані, необхідні для проведення найпростіших розрахунків, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Питома потужність загального рівномірного освітлення світильником «Універсаль» без затінювача з лампами розжарювання [12]

Розрахункова висота, м	Площа приміщення, м ²	Питома потужність (Вт/м ²) при мінімальній освітленості (лк), яка дорівнює:					
		20	30	50	75	100	150
2–3	25–50	6,4	8,6	13,8	19,5	24,5	35
	50–150	5,3	7,2	11,4	16,3	21	29
	150–300	4,7	6,4	10,2	14,3	18,5	26
3–4	30–50	6,4	8,9	14,5	20,5	25	35
	50–120	5,5	7,6	12	17	21,5	29,5
	120–300	4,7	6,6	10,2	14	18	25

Розглянемо хід розрахунку з використанням цих таблиць. Визначаємо за таблицею 2.1 величину освітленості, що відповідає заданим умовам. Обираємо для певного приміщення тип світильника, визначаємо (відповідно до розмірів приміщення) розрахункову висоту підвісу світильників. Потім для цього типу світильника за даними таблиці 2.2, розрахункової висоти підвісу, площі необхідної освітленості знаходимо величину питомої потужності у Вт/м². Розрахунковою висотою підвісу (позначається h_p) називається висота підвісу

світильника над освітлюваною робочою поверхнею (верстата, стола).

Знайдене значення питомої потужності помножують на площу приміщення, обчислюють загальну потужність ламп світильників, необхідну для цього приміщення:

$$P_{\text{заг}} = \omega' \times S, \quad (2.3)$$

де ω' – питома потужність ламп світильників, Вт/м²;

S – площа приміщення, м².

Після цього, знаючи стандартні потужності ламп, придатні для певного світильника, обирають кількість світильників і потужність ламп.

Приклад 2. Необхідно освітити монтажну майстерню площею 190 м². Висота підвісу світильників над підлогою не повинна бути нижчою 3,5 м.

Для освітлення обираємо лампи розжарювання, світильник «Універсаль», висоту підвісу над підлогою 3,5 м. Приймаючи висоту освітлюваних поверхонь (верстатів) над підлогою у 0,8 м, знаходимо розрахункову висоту підвісу світильника h_p , яка дорівнює $3,5 - 0,8 = 2,7$ м.

З таблиці 2.1 знаходимо для майстерні мінімальну освітленість 50 лк (норма для групи «монтаж обладнання»).

З таблиці 2.2 знаходимо для заданих умов величину питомої потужності – 10,2 Вт/м². Загальну потужність ламп для освітлення майстерні визначаємо за формулою (2.2):

$$P_{\text{заг}} = 10,2 \times 190 = 1938 \approx 2000 \text{ Вт.}$$

Необхідно встановити 10 світильників з лампами 200 Вт (2 ряди по 5 світильників).

Особливості розрахунків ліній живлення освітлення будинків і споруд наведені в [12].

Контрольні запитання до теми 2

1. Які електроприймачі відносять до I категорії за ступенем надійності електропостачання? Які до II категорії? Які до III категорії?
2. Які електроприймачі відносять до особливої групи?
3. Як здійснюється електропостачання приймачів особливої групи (I категорії, II категорії, III категорії)?
4. На які групи поділяють споживачів міст за ознакою характеру електропостачання і призначення?
5. Назвіть характерні групи споживачів у квартирах. Дайте їх загальну характеристику.
6. Охарактеризуйте загальнобудинкові електроприймачі.
7. Що розуміють під технічними характеристиками електроспоживачів?
8. Поясніть режими роботи електроприймачів.
9. Поясніть режими роботи електричної мережі.
10. В яких одиницях вимірюють силу світла, світловий потік і освітленість?
11. Які види освітлення робочих місць застосовують в умовах будівництва?
12. Які джерела світла застосовують на будівельних майданчиках і підприємствах будівельної індустрії?
13. У чому полягають особливості люмінесцентних ламп?
14. Які види світильників застосовують на практиці?
15. В яких випадках застосовують прожектори?

ТЕМА 3 ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ

3.1 Розрахункові навантаження

Проектування системи електропостачання кожного об'єкта починається з визначення очікуваних (або розрахункових) електричних навантажень цього об'єкта, зокрема їх середніх і максимальних значень.

Зазвичай електричне навантаження споживача EE змінюється протягом доби. На рисунку 3.1 показано типовий графік зміни добового навантаження житлового будинку. Він має два піки: ранковий (08:00–09:00) та вечірній (18:00–22:00), коли мережа навантажена найбільше, та нічний спад.

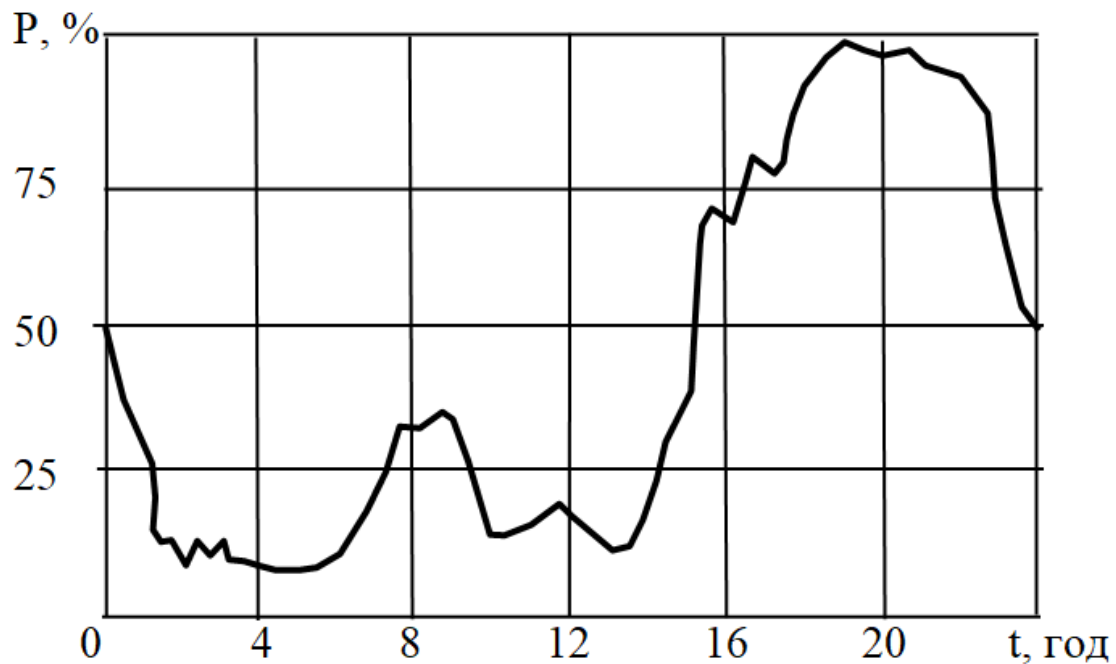


Рисунок 3.1 – Добовий графік навантаження житлового будинку

Середнє навантаження (потужність) споживача P_C за розглянутий період (добу, рік або за найбільш навантажену зміну) визначають відповідно до виразу

$$P_C = \frac{W}{T}, \quad (3.1)$$

де W – витрата електроенергії за розглянутий період, кВт·год;

T – тривалість розглянутого періоду роботи споживача, год.

Середнє навантаження за рік використовують для визначення річних втрат електроенергії, а середнє навантаження за найбільш завантажену зміну – для визначення розрахункового максимуму навантаження.

Середні навантаження за найбільш завантажену зміну $P_{зм}$ (зазвичай денну) найчастіше визначають за формулою

$$P_{зм} = k_B \times P_H, \quad (3.2)$$

де k_B – коефіцієнт використання активної потужності приймача або групи приймачів;

P_H – номінальна потужність приймача або групи однойменних приймачів.

Номінальну потужність приймача або групи однойменних приймачів ще називають **встановленою потужністю приймача** і позначають $P_{вст}$.

Коефіцієнт використання k_B для різних видів приймачів визначається на основі статистичних даних і наводиться в довідкових таблицях (див. табл. 3.1). При повторно-короткочасному режимі роботи приймачів їхня номінальна потужність зводиться до тривалого режиму за паспортними даними $P_{пасп}$ приймача відповідно до виразу

$$P_H = P_{пасп} \times \sqrt{TB}, \quad (3.3)$$

де TB – відносна тривалість вмикання, зумовлена співвідношенням (2.1).

Знання очікуваних (або розрахункових) максимальних навантажень системи електропостачання необхідно для вибору елементів електричних мереж за критеріями припустимого нагрівання і відхилення напруги, визначення максимальних втрат потужності в мережах, вибору трансформаторів підстанцій й елементів захисту груп споживачів і системи електропостачання в цілому.

Максимальне або розрахункове навантаження групи електроприймачів за активною потужністю (тридцятихвилинний максимум навантаження $P_{\text{макс}}$, P_p) визначається так:

$$P_{\text{макс}} = k_{\Pi} \times P_{\text{зм}} = k_{\text{м}} \times k_{\text{в}} \times P_{\text{н}}, \quad (3.4)$$

де k_{Π} , $k_{\text{м}}$, $k_{\text{в}}$ – коефіцієнти попиту, максимуму і використання відповідно.

Таблиця 3.1 – Розрахункові коефіцієнти електроприймачів [1]

Електроприймач	Коефіцієнт		
	$k_{\text{в}}$	$\cos\varphi$	k_{Π}
Виробництво бетону (бетонорозчинний змішувальний пристрій)	0,6–0,7	0,7	0,65–0,75
Конвеєр	0,7	0,75	0,8
Вібратор	0,7	0,75	0,6
Дозатор		0,35	0,5
Насос, вентилятор	0,64	0,75	0,8
Компресори	0,75	0,85	0,8
Пост дугової зварки (трифазне навантаження)	0,2	0,4	
Верстат для різання і виправлення дроту	0,15	0,4	
Верстат контактного зварювання (трифазне навантаження)	0,2	0,4	
Тельфер	0,1 – 0,4	0,5	

У практичних розрахунках $k_{\text{м}}$ обирають з довідкових таблиць [5] за загальною ефективною кількістю приймачів

$$n_e = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.макс}}}, \quad (3.5)$$

і середнім коефіцієнтом використання групи приймачів

$$k_{\text{в.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{зм.і}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{н.і}}}, \quad (3.6)$$

де P_n – групова номінальна (встановлена) активна потужність;

$P_{n.\max}$ – номінальна (встановлена) потужність найбільш потужного ЕП групи;

n – кількість приймачів.

Для $n_E < 4$ розрахункова потужність групи приймачів може бути визначена як сума їхніх номінальних потужностей

$$P_{\max} = \sum P_n. \quad (3.7)$$

Значення розрахункової потужності або півгодинного максимуму одного приймача визначається його номінальною потужністю з урахуванням втрат

$$P_{\max} = \frac{P_n}{\eta}, \quad (3.8)$$

де η – коефіцієнт корисної дії.

Для визначення максимального навантаження групи електроприймачів, які відрізняються як за ступенем їхнього завантаження так і за графіком роботи, використовують формулу

$$P_{\max} = k_{\Pi} \cdot P_n, \quad (3.9)$$

де k_{Π} – коефіцієнт попиту за активною потужністю для розглянутої групи приймачів.

Коефіцієнт попиту показує, яку частку від суми номінальних потужностей приймачів складає максимальна розрахункова потужність. Коефіцієнт попиту визначають на підставі досвіду експлуатації однойменних приймачів і наводять в довідкових таблицях (див. табл. 3.1). Загальний коефіцієнт попиту для різних видів будівельного виробництва коливається в межах 0,3–0,8.

У таблиці 3.2 наведені приклади даних для визначення електричних навантажень за методом питомих витрат ЕЕ.

Таблиця 3.2 – Питомі витрати електроенергії на виготовлення різних будівельних матеріалів [1]

Матеріал, виріб	Питома витрата електроенергії, кВт·год на	
	1 т	1 м³
Цемент	2 240	—
Заповнювач	90	—
Вода	22	2
Бетон	490	1 100
Прокатний матеріал	8 740	—
Залізобетон (при 2 %-му насиченні арматурою)	880	2 200
Цегла	990	—
Будівельний розчин	420	—
Кладка	810	1 500
Будівельний лісоматеріал	300	—
Столярний лісоматеріал	450	—
Електрообігрівання бетону	—	2,4

За знайденим значенням максимальної (або розрахункової) активної потужності групи однойменних приймачів легко визначити відповідні реактивні і повні потужності навантаження:

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \times \text{tg}\varphi; \quad (3.10)$$

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}, \quad (3.11)$$

де $\text{tg}\varphi$ знаходять за середньозваженим коефіцієнтом потужності $\cos\varphi$ цієї групи приймачів (значення $\cos\varphi$ для різних груп приймачів наводять в довідкових таблицях, див. приклад табл. 3.1).

Якщо є кілька різних груп приймачів, то їх повну максимальну (розрахункову) потужність визначають за формулою

$$S_{\text{макс}} = k_{\text{ОД}} \times \sqrt{\left(\sum_1^m P_{\text{макс}}\right)^2 + \left(\sum_1^m Q_{\text{макс}}\right)^2}, \quad (3.12)$$

де $k_{\text{ОД}}$ – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження груп приймачів, що характеризує зсув максимумів навантаження у часі (на практиці коефіцієнт одночасності приймають рівним у межах 0,85–1,0);

m – кількість груп електроприймачів.

За наявності даних стосовно питомих витрат електроенергії на одиницю продукції (табл. 3.2 і 3.3) і відсутності даних про встановлену потужність приймачів для попередніх оцінок застосовують метод розрахунку електричних навантажень за питомою втратою енергії на одиницю продукції.

Відповідно до цього методу споживана кількість енергії протягом року

$$W_{\text{рік}} = W_{\text{пит}} \times M_{\text{річ}}, \quad (3.13)$$

де $W_{\text{пит}}$ – норма витрат електроенергії на одиницю продукції, кВт·год/од.;

$M_{\text{річ}}$ – річний випуск продукції у натуральних одиницях.

Таблиця 3.3 – Питомі витрати електроенергії на одиницю об'єму будинку

Будинок	Конструкція	Витрати на 1 м ³	
		матеріалу, т	електроенергії, кВт·год
Житловий	Крупнопанельна	0,333	290
	Кладочна	0,216	180
Цивільний	Каркас залізобетонний	0,214**	109
	Каркас сталевий	0,030***	260
Промисловий одноповерховий	Залізобетонний	0,040	35
	Сталевий	0,030**	260
** Без зовнішньої огорожувальної конструкції, без перегородок.			
*** Без перекриттів і перегородок.			

За знайденим значенням споживаної за рік енергії визначають величину максимальної (розрахункової) потужності:

$$P_{\text{макс}} = \frac{W_{\text{річн}}}{T_{\text{макс}}}, \quad (3.14)$$

де $T_{\text{макс}}$ – максимальна кількість годин використання максимуму активної потужності на рік.

За значенням максимальної активної потужності та прийнятому середньозваженому значенню річного коефіцієнта потужності об'єкта $\cos\phi$ можна визначити й значення повної максимальної (розрахункової) потужності устаткування об'єкта.

Максимальну (розрахункову) активну потужність електричного освітлення об'єкта зазвичай визначають за формулою

$$P_{\text{макс.о}} = k_{\text{п.о}} \times k_{\text{л}} \times P_{\text{н.о}}, \quad (3.15)$$

де $P_{\text{н.о}}$ – номінальна (установлена) потужність групи однойменних освітлювальних приладів, рівна сумі номінальних потужностей усіх ламп;

$k_{\text{л}}$ – коефіцієнт лампи, що враховує втрати в пускорегулювальній апаратурі: для люмінесцентних ламп $k_{\text{л}} = 1,25$; для ртутних $k_{\text{л}} = 1,12$; для ламп накаливання $k_{\text{л}} = 1$;

$k_{\text{п.о}}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок, приймається рівним:

- для виробничих будинків, що складаються з одного або кількох великих приміщень, – 0,95;
- для приміщень середньої площі – 0,9;
- для конторських, лабораторних і аналогічних приміщень – 0,9;
- для житлових приміщень – 0,7–0,8;
- для складів і підстанцій – 0,5–0,6.

Без зниження установленної потужності приймають розрахункове навантаження (тобто $k_{п.о} = 1$) для будь-яких групових ліній і ліній зовнішнього освітлення.

Розрахунок освітлювальних навантажень також може бути виконаний методом питомої потужності за формулою

$$P_{\text{макс.о}} = P_{\text{пит}} \times S, \quad (3.16)$$

де $P_{\text{пит}}$ – питома потужність, яка визначається за довідковими даними, кВт/м²;

S – площа освітлюваного приміщення, м².

При визначенні загального навантаження об'єкта електропостачання до виразів активної і повної максимальної (розрахункової) потужності силового обладнання додають сумарну (розрахункову) потужність електричного освітлення

$$P_{\text{макс}} = \sum_1^n P_{\text{макс}} + \sum_1^n P_{\text{макс.о}}. \quad (3.17)$$

Потім за отриманим максимальним навантаженням на стороні 0,4 кВ обирають трансформатор і остаточно визначають навантаження об'єкта з урахуванням втрат потужності і вирішують питання про компенсацію реактивної потужності.

При остаточному визначенні максимальних навантажень об'єкта алгебраїчно складають розрахункові навантаження силових і освітлювальних приймачів, компенсуючих пристроїв $Q_{\text{кп}}$ і втрат у лініях $\Delta P_{\text{л}}$, $\Delta Q_{\text{л}}$ і трансформаторах $\Delta P_{\text{тр}}$, $\Delta Q_{\text{тр}}$ (з урахуванням негативного знака при випереджуючому струмі):

$$P_{\text{макс.пр}} = P_{\text{макс}} + P_{\text{макс.о}} + \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{тр}}; \quad (3.18)$$

$$Q_{\text{макс.пр}} = Q_{\text{макс}} + Q_{\text{макс.о}} + Q_{\text{к.п}} + \Delta Q_{\text{л}} + \Delta Q_{\text{тр}}. \quad (3.19)$$

При визначенні навантажень також варто враховувати несиметричність навантаження.

Якщо несиметрія однофазного навантаження не перевищує 15 % сумарної установленної потужності трифазних приймачів, несиметричне навантаження разом із симетричним вважають за симетричне. При перевищенні однофазним навантаженням 15 % потужності трифазного навантаження, розрахунок ведуть за найбільш завантаженою фазою лінії. При цьому, оскільки трансформатор лінії буде недовантаженим, його потужність або номінальне значення струму за найбільш завантаженою фазою можна зменшити відповідно до виразу коефіцієнта припустимого перевантаження у несиметричному режимі:

$$k_n = \frac{I_{\text{л}}}{I_{\text{н.т}}} = \frac{1,53}{1 + 0,45 \left[1 + \left(\frac{I_A}{I_C} \right)^2 + \left(\frac{I_C}{I_A} \right)^2 \right]}, \quad (3.20)$$

де I_A – струм найбільш завантаженої фази;

$I_{\text{н.т}}$ – номінальний струм фази трансформатора;

I_B і I_C – струми в двох інших фазах.

Нормативні вимоги до визначення розрахункових електричних навантажень житлових будинків, громадських будинків та споруд викладені у розділі 4 БДН В.2.5-23:2025 [10]. Далі, у п.3.2 і 3.3 наведені основні положення цих вимог.

3.2 Розрахунок навантаження житлових будинків

Основними споживачами електричної енергії в житлових будинках є житла (квартири), які залежно від «оснащеності побутовими електроприладами та їхніх розрахункових навантажень за потужністю електроприймачів умовно поділяють на такі види:

– вид 0 – житла (квартири) пониженої комфортності, споруджені чи споруджувані із загальною площею від 18 м² до 30 м² та заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів до 15 кВт;

– вид 1 – житла (квартири) в будинках, споруджені чи споруджувані із загальною площею від 30 м² до 100 м² та заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів до 30 кВт;

– вид 2 – житла (квартири) в багатоквартирних будинках, споруджені чи споруджувані із загальною площею від 100 до 300 м² та заявленим замовником високим рівнем комфортності, що відповідає встановленій потужності електроприймачів від 30 до 60 кВт;

– вид 3 – житла (квартири) в котеджах, будинках, споруджені чи споруджувані з розрахунку, зазвичай, на одну родину із загальною площею від 150 м² до 600 м² (і понад) та заявленим замовником високим рівнем комфортності, що відповідає встановленій потужності електроприймачів від 60 до 140 кВт [10].

Для житла 1-го виду (квартир у багато та малоквартирних будинках, будинках на одну родину і будиночках на ділянках садівничих товариств) встановлюють п'ять рівнів електрифікації та відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

I – житла (квартири) з плитами на природному газі;

II – житла (квартири) з плитами на скрапленому газі;

III – житла (квартири) з електричними плитами потужністю до 8,5 кВт;

IV – житла (квартири) з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт;

V – житлові будинки садибної забудови [10].

Для житла 2-го виду встановлюють два рівні електрифікації та відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

I рівень – житла з плитами на природному газі;

II рівень – житла з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт [10].

Розрахункове навантаження групи житла з однаковим питомим електричним навантаженням, приведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, шин напругою 0,4 кВ ТП $P_{ЖН}$, визначають за формулою

$$P_{ЖН} = P_{Жп} \cdot N, \quad (3.21)$$

де $P_{Жп}$ – питоме розрахункове електричне навантаження одного житла (квартири), яке обирається залежно від прийнятого рівня електрифікації та кількості квартир, приєднаних до цієї ланки електромережі, кВт/житло (див. табл. 6.1 у [10]);

N – кількість жител (квартир), приєднаних до лінії, ТП.

Питомі розрахункові електричні навантаження жител охоплюють навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень.

Для вибору засобів обліку і апаратів захисту загальнобудинкових споживачів сумарне розрахункове навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень $P_{ос.заг}$ рекомендується визначати за формулою

$$P_{ос.заг} = (P_{сх.кл} + P_{л.хол} + P_{кор} + P_{вест}) + 0,5 P_{інш}, \quad (3.22)$$

де $P_{сх.кл}$, $P_{л.хол}$, $P_{кор}$, $P_{вест}$ – розрахункові навантаження освітлення відповідно сходових кліток, ліфтових холів, коридорів, вестибюлю, кВт;

$P_{інш}$ – інші розрахункові навантаження освітлення (сміттєві камери, горища, технічні підлогові простори, підвали тощо), кВт [10].

Зазначимо, що загальнобудинкове силове навантаження, освітлювальне і силове навантаження вбудованих (прибудованих) приміщень громадського призначення, навантаження реклами, а також навантаження системи антиобледеніння даху на основі нагрівальних кабелів в наведений вище розрахунок не входить.

Для житла 3-го виду рівень електрифікації не має обмежень, визначається замовником і може охоплювати повне електроопалення та електропідігрівання води.

Розрахункове навантаження на вводі житла (котеджу) 3-го виду слід визначати відповідно до завдання на проектування за проектом внутрішнього електрообладнання залежно від параметрів застосовуваних приладів, режимів їх роботи та відповідних теплотехнічних розрахунків.

Потужність електротеплоаккумуляційних систем повного опалення на передпроектних стадіях орієнтовно визначають з розрахунку 200–300 Вт на 1 м² загальної площі житла (у період мінімальних навантажень енергосистеми).

Допускається в попередніх розрахунках визначати питоме навантаження на вводі такого житла (котеджу) $P_{\text{кт.п}}$ за формулою

$$P_{\text{кт.п}} = P_{\text{заяв}} \times k_{\text{поп}}, \quad (3.23)$$

де $P_{\text{заяв}}$ – заявлена (установлена) потужність електроприймачів, яку визначають додаванням номінальних потужностей електро побутових та освітлювальних приладів, систем електричного опалення та електроводопідігрівання, що ними оснащується житло (котедж), кВт;

$k_{\text{поп}}$ – коефіцієнт попиту, що визначається з таблиці 3.4 залежно від величини заявленої потужності електроприймачів у житлі [10].

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти попиту котеджів [10, табл. 6.2]

Заявлена потужність, кВт	до 15	20	30	40	50	60	70	80	90	100 і більше
Коефіцієнт попиту для котеджів без повного електроопалення	0,75	0,65	0,63	0,59	0,55	0,53	0,50	0,47	0,46	0,45
Коефіцієнт попиту для котеджів з повним електроопалення постійного включення	–	–	–	0,75	0,70	0,65	0,63	0,62	0,62	0,61

Розрахункове навантаження ліній живлення та на шинах 0,4 кВ ТП від електроприймачів жител (котеджів) 3-го виду з однаковими питомими навантаженнями на вводі $P_{\text{кн}}$ попередньо можна визначати за формулою

$$P_{\text{кн}} = P_{\text{жн}} \times N \times k_{\text{од.}}, \quad (3.24)$$

де $P_{жл}$ – питоме навантаження на ввіді одного певного типу житла (котеджу), кВт/житло (котедж);

N – кількість жител (котеджів), приєднаних до цієї ланки мережі;

$k_{од.}$ – коефіцієнт одночасності, що визначається за даними таблиці 3.5 відповідно до кількості житла (котеджів) та їхніх характеристик [10].

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта одночасності [10, табл. 6.3]

Характеристика котеджу	Значення коефіцієнта одночасності $k_{од.}$ при кількості жител (котеджів)												
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400
3 плити на природному газі	1	0,65	0,51	0,38	0,32	0,28	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11
3 електроплити потужністю до 10,5 кВт	1	0,81	0,50	0,38	0,32	0,29	0,27	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
Те саме та повним електроопаленням пл. 150 м ²	1	0,87	0,65	0,56	0,52	0,50	0,49	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
Те саме та повним електроопаленням пл. 300 м ²	1	0,90	0,73	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52
Те саме та повним електроопаленням пл. 600 м ²	1	0,93	0,81	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,675	0,67
Примітка. Коефіцієнти одночасності для всіх котеджів подані з врахуванням проточних електроводопідігрівальних приладів. Для котеджів з електроопаленням значення $k_{од.}$ подані для режиму постійного включення електроопалювальних приладів протягом опалювального сезону і не дійсні для електротеплоаккумуляційних систем, що працюють в період мінімальних навантажень системи.													

Розрахункове навантаження від жител з різними питомими розрахунковими електричними навантаженнями $P_{ж.різ.}$, зведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, шин 0,4 кВ ТП, визначають за формулою

$$P_{ж.різ.} = (P_{жП1} - P_{жП3}) \times N_1 \times k_{од1} + (P_{жП2} - P_{жП3}) \times N_2 \times k_{од(1+2)} + P_{жП3} \times (N_1 + N_2 + N_3) \times k_{од(1+2+3)}, \quad (3.25)$$

де $P_{жП1}$, $P_{жП2}$, $P_{жП3}$ – питомі розрахункові навантаження на вводі жител (квартир, котеджів) різновидів 1, 2, 3, кВт (найбільшому значенню присвоюється номер 1, найменшому – останній номер);

$N_{1,2,3}$ – кількість жител (квартир, котеджів) відповідних різновидів;

$k_{од1}$ – коефіцієнт одночасності, визначений за таблицею 3.5 для кількості житла різновиду 1;

$k_{од(1+2)}$ – коефіцієнт одночасності, визначений за таблицею 3.5 для сумарної кількості житла різновидів 1 і 2;

$k_{од(1+2+3)}$ – коефіцієнт одночасності, визначений за таблицею 3.5 для сумарної кількості житла різновидів 1, 2 і 3.

Якщо розрахункове навантаження на вводі в житло будь-якого виду складає більше 11,0 кВт, ввід виконують трифазним.

Розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, приведене до вводу, лінії або шин напругою 0,4 кВ ТП, $P_{сил}$ визначають за формулою

$$P_{сил} = \sum_{i=1}^n P_{л.i} \times k_{ноп.лi} + \sum_{j=1}^m P_{сан.j} \times k_{ноп.сан.j}, \quad (3.26)$$

де $P_{л1}.. P_{лn}$ – встановлена потужність електродвигуна кожного з ліфтів за паспортом, кВт;

$k_{ноп.лi}$ – коефіцієнт попиту для ліфтів, що визначається за таблицею 3.6 залежно від кількості ліфтових установок та кількості поверхів будинку;

$P_{сан.j}.. P_{сан.m}$ – встановлена потужність кожного електродвигуна сантехнічних установок за їх паспортами, кВт;

$k_{ноп.сан.j}$ – коефіцієнт попиту для електродвигунів сантехнічних установок, що визначається за даними [10, табл. 6.13].

Потужність резервних електродвигунів, механізмів для прибирання загально-будинкових приміщень та протипожежних установок при розрахунку навантажень ліній живлення та вводів у будівлю не враховується, за винятком тих випадків, коли вона визначає вибір захисних апаратів і перетинів провідників.

Таблиця 3.6 – Коефіцієнти попиту для ліфтових установок [10, табл. 6.4]

Кількість ліфтових установок	$K_{\text{ноп.л}}$ для будинків заввишки	
	до 12 поверхів	12 і більше поверхів
2–3	0,80	0,90
4–5	0,70	0,80
6	0,65	0,75
10	0,50	0,60
20	0,40	0,50
25 і більше	0,35	0,40
Примітка. Коефіцієнт попиту для кількості ліфтових установок, не вказаної в таблиці, визначається інтерполяцією.		

Для розрахунку ліній живлення одночасно працюючих електроприймачів протипожежних пристроїв $k_{\text{ноп.пр}}$ приймається рівним 1. При цьому враховують одночасну роботу вентиляторів димовидалення і підпирання повітря, розташованих лише в одній секції.

Значення розрахункових коефіцієнтів потужності ($\cos\varphi$) і реактивного навантаження ($\sin\varphi$) житлових будинків приймають за таблицею 3.7.

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти $\cos\varphi$ та $\sin\varphi$ [10, табл. 6.5].

Лінія живлення	Розрахункові коефіцієнти	
	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$
Квартири з електричними плитами	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами і побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, твердому наливі та з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Загальнобудинкове освітлення: з лампами розжарювання; те саме з люмінесцентними лампами	1 0,92	0,00 0,43
Господарські насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,80	0,75
Ліфти	0,65	1,17

Розрахункове навантаження ліній живлення, введів і на шинах 0,4 кВ ТП від загального освітлення гуртожитку коридорного типу визначають з урахуванням коефіцієнта попиту k_{non} , прийнятого відповідно до встановленої потужності світильників, P_{ce} наведено у таблиці 3.8.

Розрахункове навантаження групових ліній та ліній живлення від електроприймачів, що підключаються до розеток у гуртожитках коридорного типу, $P_{розN}$ визначають за формулою (3.27).

Таблиця 3.8 – Коефіцієнт попиту залежно від встановленої потужності світильників [10, табл. 6.6]

Потужність, P_{cb} , кВт	Коефіцієнт попиту $k_{п}$	Потужність, P_{cb} , кВт	Коефіцієнт попиту $k_{п}$
до 8	1,00	40...80	0,70
8...16	0,90	80...160	0,65
16...24	0,85	160...300	0,60
24...40	0,80	Понад 300	0,55

$$P_{розN} = P_{пит} N_{роз} \times k_{од,роз}, \quad (3.27)$$

де $P_{пит}$ – питома потужність на 1 розетку при кількості розеток до 100 приймається 0,1 кВт, понад 100 – 0,06 кВт;

$N_{роз}$ – кількість розеток;

$k_{од,роз}$ – коефіцієнт одночасності для мережі розеток, що визначається залежно від кількості розеток (див. табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Коефіцієнти одночасності для мережі розеток [10, табл. 6.7]

$N_{роз}$	$k_{од,роз}$	$N_{роз}$	$k_{од,роз}$
до 10	1,00	100...200	0,60
10...20	0,90	200...400	0,50
20...50	0,80	400...600	0,40
50...100	0,70	Понад 600	0,35

Розрахункове навантаження ліній живлення, введів і на шинах 0,4 кВ ТП від побутових підлогових електричних плит гуртожитків коридорного типу визначають за формулою

$$P_{\text{плN}} = P_{\text{пл.ус}} \times N_{\text{пл}} \times k_{\text{поп.пл}}, \quad (3.28)$$

де $P_{\text{пл.ус}}$ – установлена потужність електроплити, кВт;

$N_{\text{пл}}$ – кількість електроплит;

$k_{\text{поп.пл}}$ – коефіцієнт попиту, зумовлений кількістю приєднаних плит, необхідно приймати: 1 – при одній плиті; 0,9 – при двох плитах; 0,4 – при 20 плитах; 0,2 – 100 плит; 0,15 – для 200 електроплит.

Розрахункове навантаження введів і на шинах 0,4 кВ ТП при змішаному живленні від них загального освітлення, розеток, кухонних електричних плит і приміщень громадського призначення в гуртожитках коридорного типу визначають як суму розрахункових навантажень ліній живлення, помножену на 0,75.

Розрахункове навантаження житлового будинку загалом (від житла, силових електроприймачів та вбудованих чи прибудованих приміщень) за умови, коли найбільшою складовою є навантаження від житла, $P_{\text{буд.ж}}$ визначають за формулою

$$P_{\text{буд.ж}} = P_{\text{ж}} + 0,9 \times P_{\text{сил}} + \sum_{i=1}^n P_{\text{гр.i}} \times k_{\text{yi}}, \quad (3.29)$$

де $P_{\text{ж}}$ – розрахункове навантаження електроприймачів житла (квартир), кВт;

$P_{\text{сил}}$ – розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, кВт;

$P_{\text{гр.i}}$ – розрахункові навантаження вбудованих чи прибудованих громадських приміщень, кВт, що живляться від електрощитової житлового будинку (визначаються за методикою, викладеною в п.3.3), кВт;

$k_{y,i}$ – коефіцієнти участі в максимумі навантаження квартир і силових електроприймачів житлового будинку, навантажень вбудованих і прибудованих приміщень що визначаються за даними [10, табл. 6.17].

3.3 Розрахунок навантаження громадських будівель і споруд

Розрахункове навантаження ліній, що живлять робоче освітлення громадських будівель (приміщень) та споруд, адміністративних і побутових будинків (приміщень) підприємств, $P_{ос.р}$ визначають за формулою

$$P_{ос.р} = P_{ос.р.ус} \times k_{поп.р.ос}, \quad (3.30)$$

де $P_{ос.р.ус}$ – установлена потужність робочого освітлення, кВт;

$k_{поп.р.ос}$ – коефіцієнт попиту робочого освітлення залежно від його встановленої потужності.

Коефіцієнти попиту для розрахунку навантажень робочого освітлення мережі і вводів громадських, адміністративних і побутових будинків (приміщень) приймають за даними таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Коефіцієнти попиту робочого освітлення [10, табл. 6.9]

Організації, підприємства та установи	$k_{поп.р.ос}$ залежно від установленної потужності робочого освітлення, кВт							
	10	15	25	50	100	200	400	Понад 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Готелі, спальні корпуси й адміністративні приміщення санаторіїв, будинків відпочинку, пансіонатів, турбаз, дитячих таборів; побутові будинки підприємств	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30	0,30
Підприємства громадського харчування, дитячі ясла-сади, навчально-виробничі майстерні профтехучилищ	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,50

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Організації і установи управління, адміністративні будинки підприємств, установи фінансування, кредитування і страхування, загальноосвітні ніколи, спеціальні навчальні заклади, навчальні корпуси профтехучилищ, підприємства побутового обслуговування, торгівлі,	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Проектні, конструкторські організації, науково-дослідні інститути	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Актові зали, конференц-зали (освітлення залу і президії), спортзали, культові заклади	1	1	1	1	1	–	–	–
Клуби і будинки культури	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55	–	–
Кінотеатри	0,90	0,80	0,70	0,65	0,60	0,50	–	–
Примітка. Коефіцієнт попиту для встановленої потужності робочого освітлення, не зазначеної у таблиці, визначається інтерполяцією.								

Коефіцієнт попиту для розрахунку групової мережі робочого освітлення, мереж живлення і групових мереж аварійного освітлення будинків, освітлення вітрин і світлової реклами приймають рівним 1.

Коефіцієнти попиту для розрахунку електричних навантажень ліній, що живлять постановочне освітлення в залах, клубах і будинках культури, приймають рівними 0,35 для регульованого освітлення естради і 0,2 – для нерегульованого.

Розрахункове електричне навантаження ліній, що живлять розетки, $P_{розN}$ визначають за формулою

$$P_{розN} = P_{роз.ус} \times N_{роз} \times k_{поп.роз}, \quad (3.31)$$

де $P_{роз.ус}$ – установлена потужність розетки, що приймається 0,08 кВт;

$N_{роз}$ – кількість розеток;

$k_{поп.роз}$ – розрахунковий коефіцієнт попиту, прийнятий за таблицею 3.11.

У разі змішаного живлення загального освітлення і розеткової мережі розрахункове навантаження $P_{зм}$ визначають за формулою

$$P_{зм} = P_{заг.ос} + P_{роз}, \quad (3.32)$$

де $P_{заг.ос}$ – розрахункове навантаження ліній загального освітлення, кВт;

$P_{роз}$ – розрахункове навантаження розеткової мережі, кВт.

Таблиця 3.11 – Коефіцієнт попиту розеткових ліній [10, табл. 6.10]

Організації, підприємства, установи	Коефіцієнт попиту $k_{поп.рез}$		
	групові мережі	мережі живлення	вводи будинків
Організації й установи управління, адміністративні будинки підприємств, проектні і конструкторські організації, науково-дослідні інститути, установи фінансування, кредитування і страхування, загальноосвітні школи, спеціальні навчальні заклади, навчальні корпуси профтехучилищ	1	0,2	0,1
Готелі, обідні зали ресторанів, кафе та їдалень, підприємства побутового обслуговування, побутові будинки підприємств, бібліотеки, архіви	1	0,4	0,2

Розрахункове навантаження силових ліній живлення і вводів $P_{сил}$ визначають за формулою

$$P_{сил} = P_{ел.п.ус} \times k_{поп.сил}, \quad (3.33)$$

де $P_{ел.п.ус}$ – установлена потужність силових електроприймачів (крім протипожежних і резервних пристроїв), кВт;

$k_{поп.сил}$ – розрахунковий коефіцієнт попиту.

Коефіцієнти попиту для розрахунку навантаження вводів і ліній силових електричних мереж визначають за даними [10, табл. 6.11].

Розрахункове навантаження ліній живлення технологічного обладнання і посудомийних машин підприємств громадською харчування і харчоблоків $P_{\text{заг.т}}$ визначають за формулою

$$P_{\text{заг.т}} = P_{\text{пм}} + 0,65 \times P_{\text{тех.об}}, \quad (3.34)$$

де $P_{\text{пм}}$ – розрахункове навантаження посудомийних машин, визначене з коефіцієнтом попиту, що приймається за таблицею 3.12;

$P_{\text{тех.об}}$ – розрахункове навантаження технологічного обладнання, визначене з коефіцієнтом попиту, що приймається за таблицею 3.13.

Таблиця 3.12 – Коефіцієнти попиту посудомийних машин [10, табл. 6.14]

Кількість посудомийних машин	1	2	3
Коефіцієнт попиту, $k_{\text{поп.пм}}$	$\frac{1,00}{0,65}$	$\frac{0,90}{0,60}$	$\frac{0,85}{0,55}$
Примітка. У чисельнику наведені $k_{\text{поп.пм}}$ для посудомийних машин, що працюють від мережі холодного водопостачання, у знаменнику – від мережі гарячого водопостачання.			

Таблиця 3.13 – Коефіцієнти попиту силових ліній, які живлять технологічне обладнання [10, табл. 6.12]

Кількість електроприймачів теплового устаткування підприємств громадського харчування і харчоблоків, підключених до цього елемента мережі	2	3	5	8	10	15	20	30	Від 60 до 100	Понад 125
$k_{\text{поп.сил}}$ для технологічного обладнання	0,90	0,85	0,75	0,65	0,60	0,50	0,45	0,40	0,30	0,25
Примітка. До технологічного обладнання відноситься: теплове (електричні плити, марміти, сковороди, жарильні і кондитерські шафи, казани, кип'ятильники, фритюрниці тощо); механічне (тістомісильні машини, універсальні приводи, хліборізки, вібросита, коктейлезбивалки, м'ясорубки, картоплечистки, машини для нарізання овочів тощо); дрібне холодильне (шафи холодильні, побутові холодильники, низькотемпературні прилавки і тому подібні пристрої з одиничною потужністю менше ніж 1 кВт); ліфти, підйомники та інше устаткування (касові апарати, радіоапаратура тощо).										

Сумарне розрахункове навантаження ліній живлення і силових вводів підприємств громадського харчування $P_{\text{під}}$ визначають за формулою

$$P_{\text{під}} = P_{\text{тех.об}} + 0,6 \times P_{\text{сан}}, \quad (3.35)$$

де $P_{\text{сан}}$ – розрахункове навантаження ліній сантехнічного устаткування чи холодильних машин.

Розрахункове навантаження силових вводів підприємств громадського харчування при підприємствах, організаціях і установах, що обслуговують осіб, які постійно працюють в установі, а також при навчальних закладах, визначають за формулою (3.35) з коефіцієнтом 0,7.

Навантаження розподільних ліній електроприймачів прибиральних механізмів для розрахунку перерізів провідників і уставок захисних апаратів приймають рівним 9 кВт при напрузі 400/230 В і 4 кВт – при напрузі 230 В. При цьому встановлену потужність одного прибирального механізму, що приєднується до трифазної розетки, приймають рівним 4,5 кВт, а до однофазної – 2 кВт.

Розрахункове електричне навантаження конференц-залів і актових залів у всіх елементах мережі будівель визначають за найбільшим з навантажень – освітлення залу і президії, кінотехнології чи освітлення естради.

У розрахункове навантаження кінотехнологічного устаткування конференц-залів і актових залів включають потужність одного найбільшого кінопроекційного апарата з його випрямною установкою і потужність працюючої звукопідсилювальної апаратури з коефіцієнтом попиту рівним 1. Якщо в кінопроекційній встановлена апаратура для кількох форматів екрана, то в розрахункове навантаження включається апаратура найбільшої потужності.

Розрахункове навантаження силових вводів будівель (приміщень), що належать до одного комплексу, але мають різне функціональне призначення (навчальні приміщення і майстерні ПТУ, спеціальні навчальні заклади і школи; перукарні, ательє, ремонтні майстерні комбінатів побутового обслуговування;

громадські приміщення і обчислювальні центри тощо), приймають з коефіцієнтом розбіжності максимумів їхніх навантажень рівним 0,85. При цьому сумарне розрахункове навантаження повинне бути не меншим за розрахункове навантаження найбільшої з груп споживачів.

Розрахункове навантаження ліній живлення і вводів у робочому та післяаварійному режимах при спільному живленні силових електроприймачів і освітлення $P_{\text{заг}}$ визначають за формулою

$$P_{\text{заг}} = k \times (P_{\text{ос}} + P_{\text{сил.еп}} + P_{\text{хм}} \times k_1), \quad (3.36)$$

де k – коефіцієнт, що враховує розбіжність розрахункових максимумів навантажень силових електроприймачів, включаючи холодильне устаткування і освітлення, прийнятий за даними таблиці 3.14;

$P_{\text{ос}}$ – розрахункове навантаження освітлення, кВт;

$P_{\text{сил.еп}}$ – розрахункове навантаження силових електроприймачів без холодильних машин систем кондиціонування повітря, кВт;

$P_{\text{хм}}$ – розрахункове навантаження холодильного устаткування систем кондиціонування повітря, кВт;

k_1 – коефіцієнт, що залежить від відношення розрахункового навантаження освітлення до навантаження холодильного устаткування холодної станції, прийнятий за даними таблиці 3.15.

Таблиця 3.14 – Коефіцієнт розбіжності максимумів k [10, табл. 6.15]

Будівлі	Коефіцієнт k при відношенні розрахункового навантаження освітлення до силового, %		
	від 20 до 75 включно	Понад 75 до 140 включно	Понад 140 до 250
1	2	3	4
Підприємства торгівлі і громадського харчування, готелі, побутові будинки	0,90 (0,85)	0,85 (0,75)	0,90 (0,85)
Загальноосвітні школи, спеціальні навчальні заклади, профтехучилища	0,95	0,90	0,95
Дитячі ясла-садки	0,85	0,80	0,85
Ательє, комбінати побутового обслуговування, хімчистки з пральнями самообслуговування, перукарні	0,85	0,75	0,85

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4
Організації й установи управління, фінансування і кредитування, адміністративні будинки підприємств, проєктні та конструкторські організації	0,95 (0,85)	0,90 (0,75)	0,95 (0,85)
Примітка 1. Якщо значення відношення розрахункового освітлювального навантаження до силового становить менше ніж 20 % і більше ніж 250 % коефіцієнт K слід приймати таким, що дорівнює 1,0. Примітка 2. У дужках наведено коефіцієнт K для будівель і приміщень з кондиціонуванням повітря.			

Таблиця 3.15 – Коефіцієнт що залежить від відношення розрахункового навантаження освітлення до навантаження холодильного устаткування холодильної станції k_1 [10, табл. 6.16]

Відношення розрахункового навантаження освітлення до розрахункового навантаження холодильного устаткування холодильної станції, %:	до 15%	20%	50%	100%	Понад 150%
Коефіцієнт k_1	1	0,8	0,6	0,4	0,2

Коефіцієнти потужності ($\cos\phi$) для розрахунку силових мереж будівель приймають такими [10]:

Підприємства громадського харчування:

а) повністю електрифіковані 0,98

б) частково електрифіковані (із плитами на газоподібному і твердому паливі) 0,95

Продовольчі та промтоварні магазини 0,85

Ясла-садки:

а) з електрифікованими харчоблоками 0,98

б) без електрифікованих харчоблоків 0,90

Загальноосвітні школи

а) з електрифікованими харчоблоками 0,95

б) без електрифікованих харчоблоків 0,90

Фабрики-хімчистки з пральнями самообслуговування 0,75

Навчальні корпуси професійно-технічних училищ 0,90

Навчально-виробничі майстерні з металообробки та деревообробки 0,60

Готелі:

- а) без ресторанів 0,85
- б) з ресторанами 0,90

Будинки і установи управління, фінансування, кредитування та страхування, адміністративні будинки підприємств, проєктні та конструкторські організації 0,85

Перукарні та салони-перукарні 0,97

Ательє, комбінати побутового обслуговування, побутові будинки підприємств..... 0,85

Холодильне устаткування підприємств торгівлі і громадського харчування, насоси, вентилятори і кондиціонери повітря при потужності електродвигунів, кВт:

- а) до 1-го 0,65
- б) від 1-го до 4-х включно 0,75
- в) понад 4 0,85

Ліфти та інше підймальне обладнання 0,65

Обчислювальні машини (без технологічного кондиціонування повітря) 0,65

Коефіцієнти потужності для розрахунку мереж освітлення варто приймати, лампами:

- люмінесцентними 0,92
- розжарювання 1,00
- ГЛВД з компенсованими ПРА 0,85
- те саме з некомпенсованими ПРА 0,30–0,50
- газоосвітлювальних рекламних установок 0,35–0,40

Примітка 1. Застосування світильників з люмінесцентними лампами з некомпенсованими ПРА в зазначених будівлях не допускається, крім однолампових світильників потужністю до 30 Вт, що мають коефіцієнт потужності 0,5.

Примітки 2. При спільному живленні лінією розрядних ламп і ламп розжарювання коефіцієнт потужності визначається з урахуванням сумарних активних і реактивних навантажень.

Розрахункове навантаження лінії живлення ТП при спільному електропостачанні цивільних будівель (приміщень) різного призначення $P_{б.ц}$ визначають за формулою

$$P_{б.ц} = P_{б.мах} + P_{б1} \times k_1 + P_{б2} \times k_2 + \dots + P_{бn} \times k_n, \quad (3.37)$$

де $P_{б.мах}$ – найбільше з навантажень будівель (приміщень), що живляться лінією (ТП), кВт;

$P_{б1} \dots P_{бn}$ – розрахункові навантаження всіх інших будівель (приміщень), крім будинку, що має найбільше навантаження $P_{б.мах}$, які живляться лінією (ТП), кВт;

$k_1, k_2, \dots, k_n$ – коефіцієнти участі і максимумі навантаження, що враховують частку електричних навантажень будівель (приміщень) громадського призначення і житлових будинків у найбільшому розрахунковому навантаженні $P_{б.мах}$ приймають за [10, табл. 6.17].

Попередні орієнтовні розрахунки електричних навантажень будівель (приміщень) громадського призначення допускається виконувати за укрупненими питомими електричними навантаженнями, що наведені в додатку Б, таблиця Б.1.

Контрольні запитання до теми 3

1. Як визначається середнє навантаження за більш завантаженою зміну?
2. Як визначається ефективна кількість електроприймачів?
3. Що розуміють під розрахунковим навантаженням групи електроприймачів?
4. Що характеризує коефіцієнт попиту електроприймача?
5. Поясніть сутність розрахунку навантаження за методом питомих втрат?

6. Як визначається максимальна активна потужність електричного освітлення?

7. Яка різниця між потужностями на високій і низькій сторонах трансформатора?

8. Який документ визначає порядок розрахунку електричних навантажень житлових і громадських будинків?

9. На які групи поділяються житла за ознакою оснащення побутовими приладами?

10. Як залежить коефіцієнт попиту житла від заявленої потужності електроприймачів у житлі?

11. Поясніть фізичну сутність коефіцієнта одночасності?

12. Поясніть основні особливості розрахунку навантаження громадських будинків?

ТЕМА 4

ПОБУДОВА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ

4.1 Загальні вимоги до системи електропостачання

4.1.1 Концепція системи електропостачання

Система електропостачання міста історично формується і розвивається разом з містом. З розвитком міста розвивається перспективна схема електропостачання і схема розвитку електричних мереж міста, які будуються на основі вже наявної системи електропостачання, з урахуванням можливостей джерел живлення (потужності електростанцій на території міста і потужності підстанцій енергосистеми, що забезпечують місто електричною енергією). У генеральному плані міста разом з будівництвом нових об'єктів (підприємств, житлових і громадських будинків і таке ін.) передбачається територія для об'єктів системи електропостачання: трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, повітряних і кабельних ЛЕП тощо.

Питання електропостачання міста вирішуються комплексно, з урахуванням можливостей використання ТП і РП системи електропостачання міста для живлення електроприймачів, розташованих на території міста.

Система електропостачання міста повинна відповідати таким вимогам:

- система забезпечує встановлену ПУЕ безперебійність електропостачання для електроприймачів усіх наявних категорій;
- система забезпечує усі можливі режими роботи (нормальні, аварійні, післяаварійні, ремонтні);
- система має необхідну гнучкість і резерв для подальшого розвитку;
- усі елементи системи зазвичай постійно знаходяться у роботі, а при виході з ладу будь-яких елементів їх навантаження беруть на себе ті елементи, які залишилися в роботі;
- забезпечується потрібна якість електричної енергії.

До складу системи електропостачання міста входять:

- електропостачальні мережі напругою 35 кВ і вище разом з районними понижувальними підстанціями (ПС) та підстанціями глибокого введення (ПГВ); шини 10(6) кВ цих підстанцій є центрами живлення (ЦЖ) розподільних мереж міста;
- живильні мережі 10(6) кВ разом з лініями від ЦЖ до РП або до трансформаторної підстанції (ТП), розподільні пункти та зв'язки між ними;
- розподільні мережі 10(6) кВ разом з лініями між РП і ТП;
- трансформаторні міські підстанції напругою 10(6)/0,4 кВ;
- розподільні мережі 0,4 кВ разом із зовнішніми мережами від ТП до введів у будинки й внутрішні електромережі в будинках.

У системах електропостачання користуються такою термінологією [4–7].

Глибокий ввід – наближення вищої напруги до центрів навантаження споживачів з найменшою кількістю ступенів трансформації та апаратів.

Незалежне джерело живлення – джерело, на якому зберігається напруга при втраті її на інших джерелах, що живлять певний об'єкт. Незалежним джерелом живлення може бути інша електростанція, підстанція або секція шин РП чи ТП, якщо кожна з них, своєю чергою, одержує живлення від різних джерел.

Розподільний пункт (РП) – підстанція, призначена для приймання та розподілу електроенергії без трансформації напруги. При цьому на РП може бути встановлений трансформатор (або трансформатори) для живлення невеликої частини споживачів електроенергії, розташованих поблизу РП.

Ввід – повітряна або кабельна лінія, призначена для з'єднання зовнішньої розподільної мережі з внутрішньою електропроводкою будинку або електроустановкою, розміщеною у будинку.

Системи електропостачання міст і населених пунктів повинні відповідати їхній величині, структурі розміщення навантажень і перспективам розвитку без кардинальної перебудови. Під час проектування системи електропостачання намагаються використовувати більш прості схеми розподілу електричної

енергії та застосовувати підвищені напруги, підстанції максимально наближати до центрів електричних навантажень районів міста, застосовувати схеми глибоких вводів.

Для великих і середніх міст розроблена «ідеальна» система електропостачання [1], що найбільшою мірою задовольняє усім вимогам. Цю систему покладено в основу побудови систем електропостачання найбільших міст у нашій країні та в більшості інших країн. За цієї системи в місті використовуються напруги 110, 10 та 0,4 кВ, а останнім часом і вищі. Схема цієї системи зображена на рисунку 4.1.

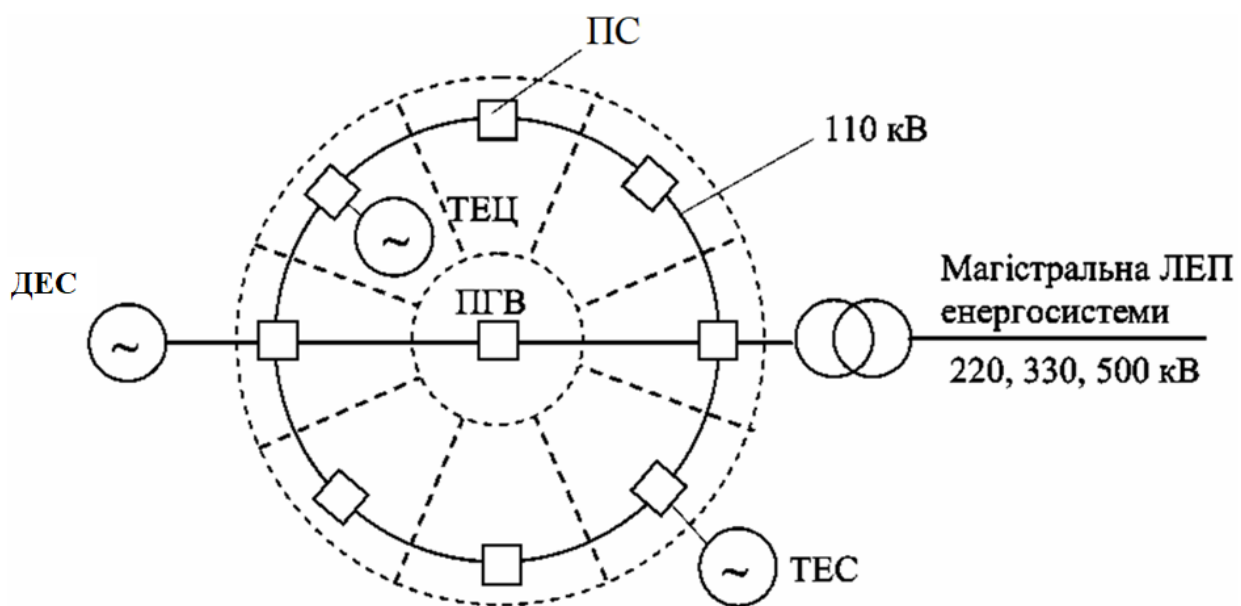


Рисунок 4.1 – «Ідеальна» схема електропостачання міста [1]

Мережа 110 кВ виконана у вигляді кільця, що оточує місто. Для електропостачання центральної частини міста передбачається потужна підстанція глибокого вводу 110/10 кВ, яка живиться по діаметральній кабельній лінії, що прокладена через центр міста.

Джерела електроенергії, розташовані в місті – теплоелектроцентральної (ТЕЦ) та за його межами (теплова електростанція (ТЕС), державна електростанція (ДЕС), ЛЕП енергосистеми), віддають енергію безпосередньо в кільце. З допомогою кільця здійснюється паралельна робота усіх джерел

живлення. Кільцеві підстанції 110/10 кВ, розташовані в центрах навантаження, живлять розподільні мережі 10 кВ кожна у своєму секторі.

Загальна пропускна спроможність кільця 110 кВ повинна задовольняти умові збереження електропостачання міста на випадок виходу з ладу окремих елементів. При зростанні навантаження міських споживачів енергії пропускна спроможність мережі 110 кВ може зростати як завдяки багаторазовому повторенню кільця з різними радіусами, так і завдяки спорудженню додаткових діаметральних зв'язків.

У перспективі замість кільця 110 кВ можуть споруджуватися кільця вищої напруги, а кільце 110 кВ може розмикатися і його підстанції перетворюватимуться на підстанції глибокого вводу.

4.1.2 Напруги міських мереж

Напруги міських мереж обираються з урахуванням: концепції розвитку міста; найменшої кількості ступенів трансформації електричної енергії; технічних характеристик джерел живлення, щільності й величини навантажень тощо. У будь-яких випадках завжди прагнуть скоротити кількість трансформацій електроенергії. Для більшості міст найбільш доцільною є система напруг 220–110/10 кВ, для найбільших міст 500/220–110/10 кВ або 330/110/10 кВ. В наявних мережах варто прагнути до заміни мереж напругою 35 кВ на напругу 110 або 220 кВ.

Для міських розподільних мереж рекомендується застосовувати напругу не нижче 10 кВ. Напруга 6 кВ ще застосовується в наявних мережах, але по можливості ці мережі при реконструкції та розширенні переводять на напругу 10 кВ.

Перспективним є застосування у міських розподільних мережах великих міст напруги 20 кВ. Її використання повинне бути обґрунтовано техніко-економічними розрахунками.

Мережі до 1 кВ виконуються на напругу 400 В. Напруга 660 В застосовується в розподільних мережах промислових підприємств.

4.2 Електропостачальні мережі у містах

З допомогою електропостачальної мережі здійснюється паралельна робота джерел живлення і вона ж використовується для розподілу енергії серед районів міста.

Для великих міст електропостачальна мережа виконана у вигляді кільцевої або магістральної мережі з двостороннім живленням (джерела живлення – підстанції енергосистеми або електричні станції). Виконання у вигляді кільця забезпечує надійну та гнучку систему електропостачання міста, а також достатній економічний розвиток електропостачальної мережі при збільшенні навантаження окремих районів міста.

Напруга кільцевої мережі визначається розмірами міста. Для великих і найбільших міст мережа виконується на напругу 110–220 кВ і більше. Наявні мережі напругою 35 кВ переводяться на напругу 110 кВ.

Кільцева мережа 110 кВ повинна бути з'єднана мережею зовнішнього електропостачання не менше ніж з двома територіально віддаленими, незалежними джерелами живлення через різні опорні підстанції. Лінії зв'язку кільцевої мережі з опорними підстанціями повинні споруджуватися по різних трасам.

На рисунку 4.2, як приклад, показано схему електропостачальної мережі міста у вигляді кільця ліній напругою 110 кВ і вище з глибокими вводами. Усі лінії кільця і глибоких вводів виконуються подвійними або дволанцюговими для забезпечення резерву живлення споживачів першої та другої категорій. До кільця підключають лінії розподільної мережі міста (на рис. 4.2 не показані). У разі потреби (появи нових споживачів) пропускну здатність кільцевої мережі збільшують або підключенням нових джерел живлення (ТЕЦ-2), або спорудженням додаткових ліній у кільці на тій самій або вищій напрузі. На рисунку 4.2 ділянка мережі 220 кВ вже представлена.

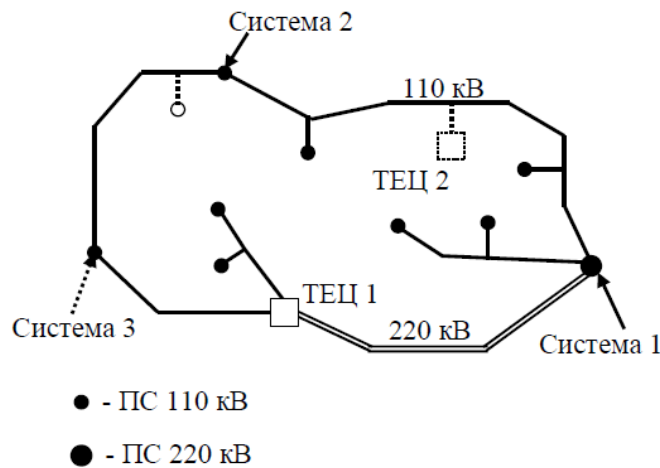


Рисунок 4.2 – Електропостачальна система міста

Підстанції глибокого вводу використовують не тільки для електропостачання районів міста, але й для живлення промислових підприємств, розташованих у місті. Лінії глибокого вводу можуть відходити від кільцевих підстанцій і від будь-якої ділянки кільця відпайкою.

На усіх підстанціях електропостачальної мережі та підстанціях глибокого вводу встановлюють не менше двох трансформаторів за умови надійності живлення усіх споживачів електроенергії міста.

Схеми виконання підстанцій електропостачальної мережі різні залежно від їхнього призначення. Найскладніші схеми опірних підстанцій кільцевої мережі, що одержують електроенергію від системи на напрузі вищій ніж напруга кільця. Підстанції глибокого вводу зазвичай виконують за спрощеними схемами. Найпростішими є схеми підстанцій при живленні радіальними тупиковими лініями, в яких безперебійність живлення здійснюється завдяки роботі *автоматичного включення резерву* (АВР) на сторонах 10 та 0,4 кВ.

4.3 Живильні мережі 10(6) кВ

Живильна мережа є проміжною ланкою між джерелом живлення і розподільною мережею і призначена для концентрованої передачі потужності в

райони, віддалені від ПГВ і опорних підстанцій. До складу живильних мереж входять РП і ЛЕП.

Доцільність спорудження РП у кожному конкретному випадку визначається техніко-економічними розрахунками. Застосування РП допускається [10] при навантаженні на їх шини не менше 10 МВт для напруги 10 кВ.

У наш час при збільшенні потужностей трансформаторів міських підстанцій до 1 000 та 1 600 кВА наявність цієї проміжної ланки не завжди доцільна і часто вигідніше жити міські ТП безпосередньо від центрів живлення розподільними лініями 10(6) кВ.

У системах електропостачання промислових підприємств, навпаки, за великих навантажень введення до схеми РП зазвичай виявляється вигідним. Але в заводських мережах не прийнято поділяти мережі 10(6) кВ на живильні та розподільні, тому що вони складають єдину систему внутрішнього електропостачання підприємства.

Згідно з ДБН В.2.5-23-2025 [10], живильні мережі та РП міст повинні споруджуватися з урахуванням сумісного живлення промислових підприємств і прилеглих до них районів міста з комунально-побутовими споживачами електроенергії. Це дозволяє використати незбіг в часі максимумів навантаження для збільшення пропускної здатності системи.

Використовують живильні мережі міст з паралельною та роздільною роботою ліній.

При паралельній роботі ліній (рис. 4.3) вони всі підключаються до однієї секції шин РП підстанції або ЦЖ, тому що інакше секції шин ТП або ЦЖ будуть зашунтовані лініями, що відходять, і втратять свою незалежність.

При роздільній роботі ліній між ними улаштовують апаратуру АВР, і вони підключаються до різних секцій шин РП, або ЦЖ, або до різних джерел живлення, як показано на рисунку 4.4.

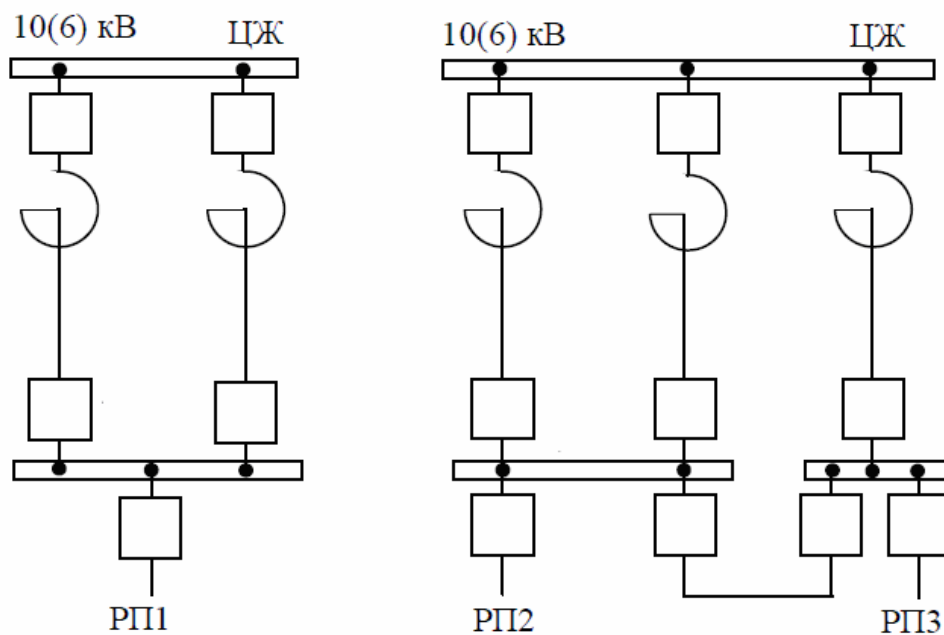


Рисунок 4.3 – Живильні мережі з паралельною роботою ліній

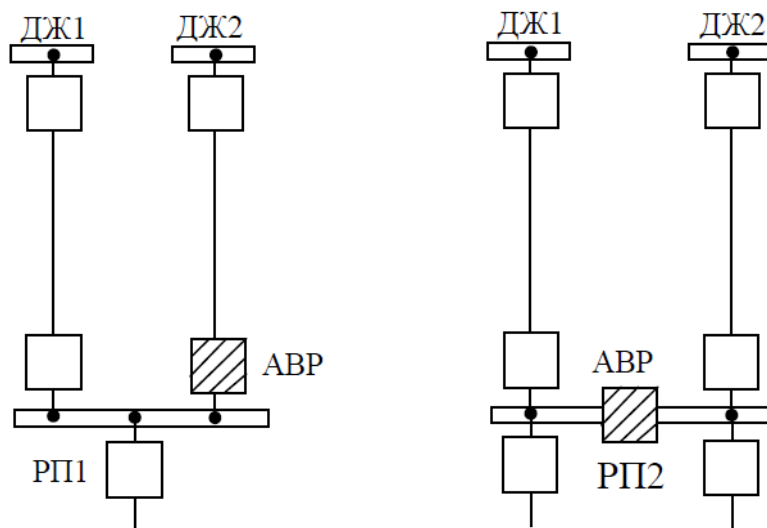


Рисунок 4.4 – Живильні мережі з роздільною роботою ліній

Використовують також комбіновані схеми живильних мереж. У всіх випадках в живильних мережах для кращого використання шаф розподільних пристроїв на РП або ЦЖ прагнуть використовувати кабелі максимального перерізу (185 або 240 мм²) і навіть застосовують здвоєні та спарені лінії.

Здвоєними називають лінії з двох кабелів, які підключаються паралельно на обох кінцях лінії. *Спареними* називають лінії, кабелі яких підключаються на ЦЖ під один вимикач, але йдуть кожний на різні РП або ТП.

4.4 Розподільні мережі 10(6) кВ

Схема побудови мережі визначає спосіб комутації її ліній, умови резервування її окремих елементів, розрахункові режими роботи мережі, особливості конструктивного виконання ТП і використання засобів захисту та автоматики. Нижче відмічені особливості деяких з поширених схем міських розподільних мереж 10(6) кВ.

4.4.1 Петльова мережа

У міських мережах доволі поширені петльові лінії 10(6) кВ з двостороннім живленням. Схема такої мережі зображена на рисунку 4.5. За нормальних умов ці лінії працюють в розімкнутому режимі, причому точка розімкнення знаходиться поблизу точки струморозподілу.

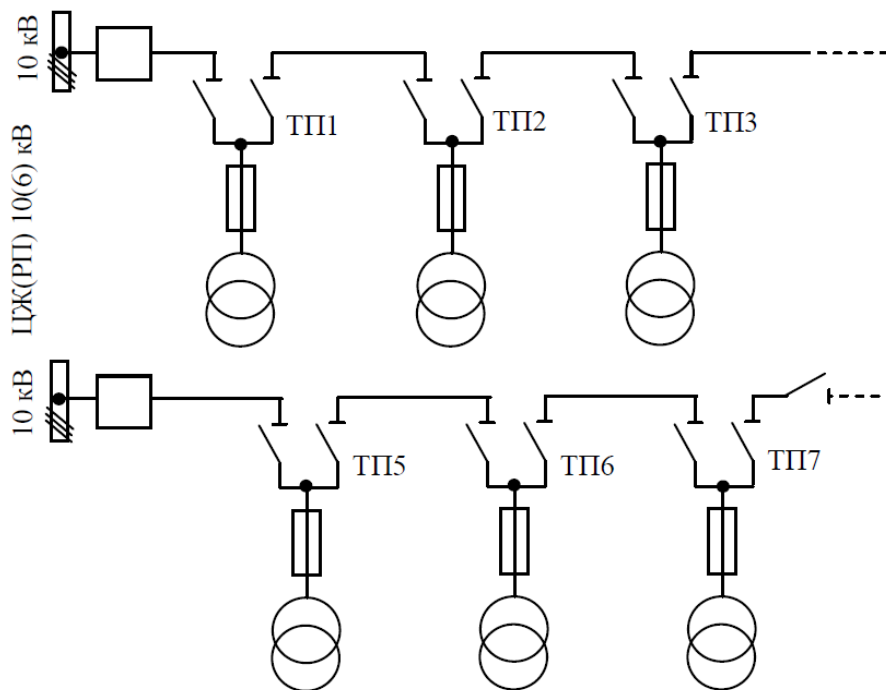


Рисунок 4.5 – Схема петльової розподільної мережі

Переріз петльових ліній визначають за умов двостороннього живлення усіх ТП при виході з ладу будь-якого кабелю, що відходить від ЦЖ.

Петльова схема має достатньо високі техніко-економічні показники, її прийняття для електропостачання міст не потребує будь-яких техніко-економічних обґрунтувань для споживачів другої та третьої категорій.

4.4.2 Двопроменева мережа з АВР на стороні 10(6) кВ

Двопроменева мережа з АВР на стороні 10(6) кВ зображена на рисунку 4.6. У цій схемі одотрансформаторні підстанції під'єднуються по чергово до ліній Л1 та Л2. На кожній ТП АВР реалізується з допомогою вимикачів навантаження ВН-16, один з яких має заводську конструкцію і постійно ввімкнтий, другий – має змінену конструкцію (переставлена пружина так, що вона діє не на вимикання, а на вмикання апарата) і постійно вимкнений.

У двопроеменевій схемі в нормальному режимі навантаження лінії не перевищує 65 % їх нормальної пропускної здатності, тому що навантаження в аварійному режимі не повинно перевищувати 130 %.

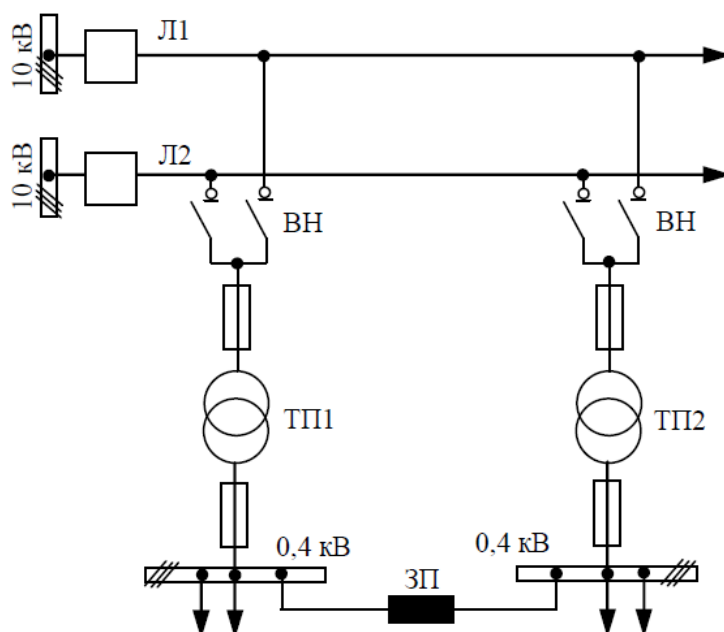


Рисунок 4.6 – Двопроменева схема з АВР на стороні 10(6) кВ

Для часткового резервування живлення споживачів на стороні 0,4 кВ влаштовують ремонтний зв'язок з розділом у так званому *з'єднуючому пункті* (на схемі ЗП). Ці лінії нормально знаходяться у розімкненому режимі й розраховані на резервування до 20 % навантаження найбільш важливих електроприймачів. Паралельна робота трансформаторів через мережу 0,4 кВ у цій схемі не передбачається і перемички використовуються тільки при вимкненні частини трансформаторів у період провалу навантаження на короткий час.

Двопроменева мережа з АВР на стороні 10(6) кВ використовується для живлення споживачів другої та третьої категорії.

4.4.3 Двопроменева мережа з АВР на стороні 0,4 кВ

У цій схемі використовуються двотрансформаторні підстанції. Кожний трансформатор, як показано на рисунку 4.7, одержує живлення по своїй лінії (незалежне живлення). Кожний трансформатор несе свою частину навантаження, а при виході з ладу однієї з ліній або одного з трансформаторів другий трансформатор бере на себе все навантаження підстанції. Це забезпечується спеціальною схемою АВР на стороні 0,4 кВ.

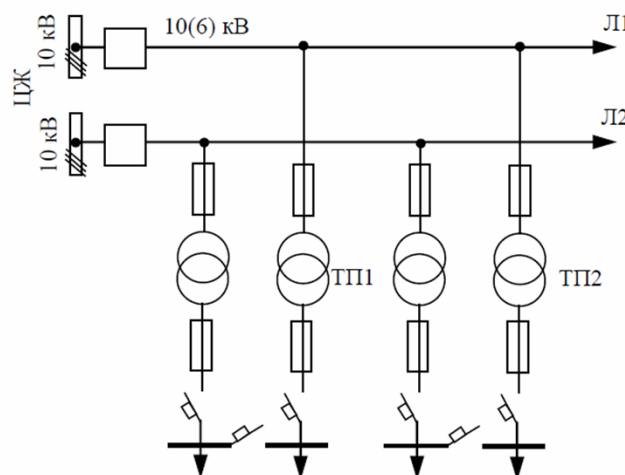


Рисунок 4.7 – Двопроменева мережа з АВР на стороні 0,4 кВ

За завантаженням ліній у нормальному режимі (до 65 %) ця схема не відрізняється від попередньої, а за вартістю дорожча, тому що

використовуються двотрансформаторні підстанції. Надійність цієї схеми вища, ніж попередньої, і її можна використовувати для електроприймачів другої та першої категорій.

4.4.4 Багатопроменева розподільна мережа

Схема може бути виконана з трьома, чотирма або більшою кількістю ліній. У разі трипроменевої схеми (рис. 4.8) пропускна здатність ліній зростає до 75 %, а при чотирипроменевої – до 85 % номінального завантаження лінії, бо чим більше взаємно резервуючих одна одну ліній, тим менша частка перевантаження припадає на кожну з ліній при виході з ладу однієї з ліній.

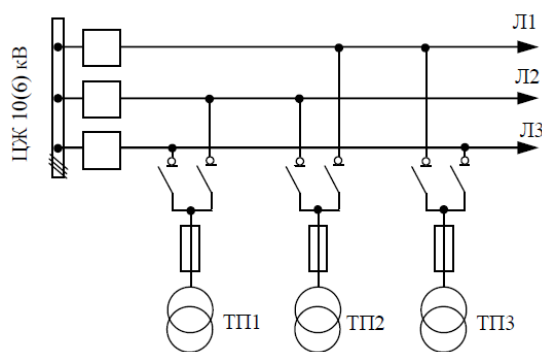


Рисунок 4.8 – Трипроменева мережа

Підстанції у цій схемі приймаються одностансформаторними, АВР здійснюється на кожній підстанції на стороні 10(6) кВ за допомогою вимикачів навантаження ВН-16, один з яких має заводську конструкцію, а другий - переставлену пружину. За надійністю схема використовується для споживачів другої та третьої категорій. За техніко-економічними показниками ця схема краща, ніж двопротоменева, тому що краще використовується пропускна здатність ліній у нормальному режимі.

На промислових підприємствах ця схема не застосовується, а в міських мережах доволі широко поширена. Це пов'язано з тим, що в міських мережах і на промислових підприємствах різні співвідношення між навантаженнями та довжиною мереж 10 (6) кВ.

4.5 Розподільні мережі 0,4 кВ

Розрізняють дві групи міських розподільних мереж 0,4 кВ: розподільні мережі від ТП до вводу в будинки (зовнішні мережі) та розподільні мережі всередині будинків. Розглянемо основні схеми зовнішнього електропостачання будинків.

Для електропостачання споживачів третьої категорії використовуються одинарні радіальні або магістральні лінії (рис. 4.9).

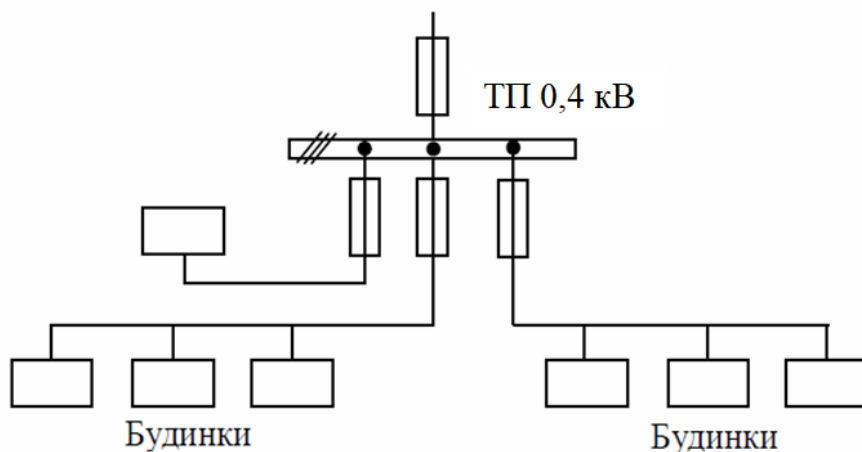


Рисунок 4.9 – Електропостачання споживачів третьої категорії

Мережі у цьому разі мають одностороннє живлення, і резервні елементи відсутні.

Для електропостачання споживачів II та III категорій використовують неавтоматизовані двопроменеві (рис. 4.10) або петльові (рис. 4.11) мережі 0,4 кВ двостороннього живлення.

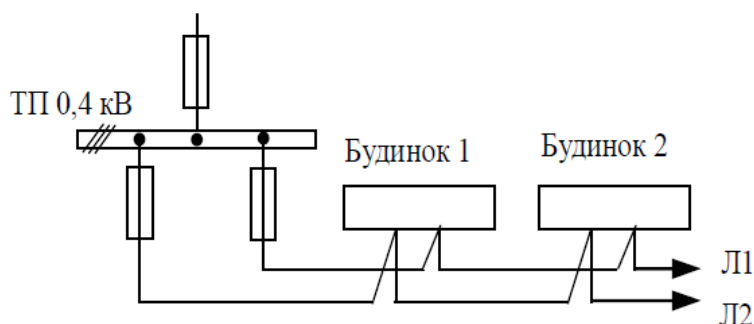


Рисунок 4.10 – Двопроменева мережа 0,4 кВ

Петльові мережі 0,4 кВ підключаються обома кінцями до однієї або до різних трансформаторних підстанцій і працюють у розімкненому режимі.



При великому розвитку петльових ліній 0,4 кВ у містах і при великій щільності навантаження використовують поздовжньо-замкнутий та напівзамкнутий режими роботи петльової мережі (рис. 4.12).



При поздовжньо-замкненому режимі в точках струморозподілу петльових ліній С1 та С2 замість комутаційного апарата ставлять запобіжники з плавкими вставками на 1–2 ступені меншими, ніж запобіжники на ТП на початку ліній. Це так званий слабкий зв'язок між лініями. Таким чином, трансформатори, які живляться по одній лінії (Л1 або Л2), виявляються увімкненими на паралельну роботу зі сторони 0,4 кВ.

При поздовжньо-замкненій і напівзамкненій петльових мережах безперебійність електропостачання підвищується тільки в періоди провалів навантаження. Якщо ж, наприклад, в період максимуму навантаження вийде з ладу трансформатор ТП, запобіжники слабого зв'язку С1 та С3 перегорять і споживачі електроенергії, підключені до ліній, які відходять від ТП1, втратять живлення, але тим самим буде припинено розвиток аварії.

Замкнена схема має високу надійність електропостачання, проста у розвитку, але для свого влаштування вимагає мало не вдвічі більшої кількості кабельної продукції.

Контрольні запитання до теми 4

1. Яким вимогам повинна відповідати система електропостачання міста?
2. Поясніть склад системи електропостачання міста?
3. Поясніть схему «ідеальної» системи електропостачання міста?
4. Які напруги і в яких випадках застосовуються в міських електромережах?
5. Що розуміється під глибоким вводом?
6. Що таке АВР і в яких схемах воно застосовується?
7. Які схеми живильних мереж і в яких випадках застосовуються у містах?
8. Поясніть роботу петльової схеми.
9. Поясніть роботу двопроменевої схеми.
10. Поясніть роботу двопроменевої схеми з АВР на низькій стороні.
11. Поясніть роботу трипроменевої схеми
12. Поясніть особливості одинарних радіальних і магістральних ліній 0,4 кВ.

ТЕМА 5

РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

5.1 Задачі розрахунку електричної мережі

У процесі проєктування схем електропостачання будинків і будівель вирішують такі питання:

- за заданими потужностями електроприймачів і режимами їх роботи визначаються величини струмів, що протікають у лініях живлення;
- за отриманими значеннями струмів проводять вибір перетинів і марок проводів і кабелів, якими протікають ці струми;
- обрані перетини проводів і кабелів перевіряють по критерію допустимих втрат напруги в нормальному і післяаварійному режимах і на механічну міцність;
- за отриманими значеннями струмів, враховуючи умови прокладання проводів і кабелів, виконують розрахунки та вибір захисних апаратів (запобіжників, теплових і електромагнітних реле).

При проведенні розрахунків електричних мереж враховують наступні положення:

- при проходженні розрахункового струму через провідники останні не повинні перегріватися до температур, що перевищують припустимі за пожежних умов значення;
- відхилення напруги на затискачах електроприймачів повинні знаходитися в допустимих межах, установлених ПУЕ [7] на якість електричної енергії для її приймачів;
- зниження напруги, викликані короточасними змінами навантаження, наприклад вмиканням короткозамкнених асинхронних електродвигунів, не повинні перевищувати значень, установлених вказаним вище державним стандартом, і спричиняти порушення роботи діючих електроприймачів;

- механічна міцність проводів повинна бути не нижче припустимої для даного виду електропроводки;
- при виборі схеми та розрахунках живильних мереж доцільно враховувати економічні фактори, що характеризуються найменшими зведеними витратами;
- розподіл допустимих втрат напруги по ділянках внутрішньої мережі доцільно робити з умови найменших витрат провідникових матеріалів;
- апарати захисту повинні забезпечувати захист усіх ділянок мережі від коротких замикань (КЗ), а в деяких випадках, передбачених ПУЕ, і від перевантаження. Крім того, ці апарати не повинні спрацьовувати при короткочасних підвищеннях струмів навантаження, можливих при нормальних режимах роботи мережі, наприклад при включенні короткозамкнених електродвигунів, електромагнітів клапанів протипожежних пристроїв і таке ін. Апарати захисту повинні по змозі працювати вибірково, тобто забезпечувати селективне відключення пошкодженої ділянки. Вихідними даними для розрахунку мережі є електричні навантаження, визначення яких розглянуто в темі 3.

5.2 Визначення перерізу проводів і кабелів

Розрахунок повітряних і кабельних мереж зводиться до визначення перерізу проводів і жил кабелів, вибору апаратури захисту.

Розрахунок лінії внутрішнього електропостачання виконується у відповідній послідовності.

Складається схема електромережі й за схемою визначається довжина тієї або іншої лінії та встановлена потужність підключених електроприймачів.

Після цього визначають розрахунковий струм:

- для трифазного кола:

$$I_p = \frac{P_p \times 10^3}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi}; \quad (5.1)$$

- для однофазного кола:

$$I_p = \frac{P_p \times 10^3}{U_\phi \cos \varphi}, \quad (5.2)$$

де P_p – розрахункова (максимальна) потужність електроприймачів, підключених на кінці розрахункової ділянки лінії, кВт;

U_n – номінальна лінійна напруга лінії, В;

U_ϕ – номінальна фазна напруга лінії, В;

$\cos\phi$ – середньозважений коефіцієнт потужності.

За величиною розрахункового струму I_p попередньо визначають тип і переріз проводу або кабелю за умовою

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (5.3)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм проводу або кабелю відповідного перерізу (тип і переріз проводу або кабелю вибирають з таблиць, що наведені в ПУЕ [7] та електротехнічних довідниках (див. дод. А, табл. А.1 – А.4).

Потім перевіряють, щоб обрані перерізи кабелів і проводів не були менше перерізів, зазначених у ПУЕ. Для випадку приєднання пересувних приймачів переріз має бути не менш 2,5 мм², а у випадку стандартної прокладки кабелів і ізольованих проводів переріз має бути не менше 1 мм² для мідних і 2,5 мм² для алюмінієвих проводів.

Після визначення перерізу кабелю або проводу перевіряють переріз кабельної або повітряної лінії за припустимою втратою напруги. Для ліній постійного й однофазного змінного струму за формулою

$$\Delta U\% = \frac{200 \times P_p \times l}{\gamma \times F \times U_n^2} \times 100 \%, \quad (5.4)$$

де P_p – розрахункова (максимальна) потужність навантаження лінії, Вт;

l – довжина лінії, м;

U_n – номінальна напруга лінії, В;

F – переріз проводу, мм²;

γ – питома провідність матеріалу лінії, м/Ом · мм².

Для трифазної лінії:

$$\Delta U\% = \frac{S_p \cdot l}{U_H^2} (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% \quad (5.5)$$

де S_p – повне розрахункове (максимальне) навантаження, ВА;

l – довжина лінії, км;

R_0, X_0 – питомий активний й реактивний опір проводу лінії, Ом/км;

$\cos \varphi$ – середньозважений коефіцієнт активної потужності лінії й відповідний йому $\sin \varphi$.

Індуктивний опір повітряних ліній напругою до 10 кВ із мідними й алюмінієвими проводами коливається в межах $X_0 = 0,35\text{--}0,4$ Ом/км. Величини активних опорів голих алюмінієвих і мідних проводів зазначені у таблиці А.4.

Величина R_0 з деяким наближенням може бути визначена:

– для мідних проводів – $R_0 = 17,5/F$, Ом/км;

– для алюмінієвих проводів – $R_0 = 28/F$, Ом/км.

Для повітряних ліній із проводами перерізом до 16 мм² індуктивний опір можна не враховувати, тому що в цьому випадку визначальною величиною є активний опір.

Для кабельних ліній напругою до 10 кВ величина X_0 складає 0,07–0,08 Ом/км. У порівнянні з активним опором це доволі мала величина, тому при розрахунках нею нехтують.

Варто врахувати, що індуктивним опором проводів можна знехтувати за наступних умов:

– повітряна лінія при $\cos \varphi$ близькому до одиниці;

– кабельна лінія при $\cos \varphi > 0,95$ і при перерізі мідних жил < 35 мм²;

– внутрішня лінія напругою до 1 000 В, виконана проводом у трубах, а також для ліній, виконаних проводом до 6 мм² на роликах і призначених для живлення малопотужних двигунів.

Якщо за результатами розрахунку втрати напруги обраного перерізу лінії перевищують припустимі, то варто збільшити переріз проводів або кабелю і повторити розрахунок.

Чинними нормами на затискачах асинхронних двигунів (електричних двигунів найбільш чутливих до коливань напруги) і апаратів, призначених для їхнього пуску і керування, допускаються відхилення напруги в межах від -5 % до +10 % від номінальної. На затискачах приладів робочого освітлення і прожекторних установок, ще більш чутливих до рівня напруги, допускаються відхилення напруги в межах від -2,5 % до +5 % від номінальної.

5.3 Визначення струмів апаратів захисту

Усі елементи електричних мереж повинні бути захищені від струмів короткого замикання. Апарати електричного захисту – плавкі запобіжники або максимальні автоматичні вимикачі (автомати) установлюють на початку кожної секції мережі й на трансформаторних вводах.

При виборі номінального струму плавкої вставки запобіжника повинні бути виконані такі умови.

Номінальний струм плавкої вставки $I_{\text{ВСТ}}$ повинний бути не менше максимального розрахункового струму цього ланцюга в робочому режимі I_p :

$$I_{\text{ВСТ}} \geq I_p. \quad (5.6)$$

Плавка вставка не повинна перегоріти під час пуску електродвигуна під'єднаного до цього ланцюга:

$$I_{\text{ВСТ}} \geq I_{\text{пуск}}/\alpha, \quad (5.7)$$

де $I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм найбільш потужного електродвигуна з підключених до лінії живлення;

α – коефіцієнт короткочасного перевантаження плавкої вставки (приймається рівним 2,5 – для двигунів, що пускаються без навантаження; 2,0–1,6 – для двигунів, що пускаються при навантаженні на валу; 1,6 – для ліній, прокладених до зварювальних трансформаторів або для двигунів з важким пуском (наприклад, кранових)).

Пусковий струм електродвигуна визначають за формулою

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}}, \quad (5.8)$$

де $k_{\text{п}}$ – кратність пускового струму (обирається за даними каталогів виробників);

$I_{\text{н}}$ – номінальний струм електродвигуна, визначається за співвідношенням

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (5.9)$$

де η – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Номінальний струм вставки обирають за більшим значенням струму, визначеному з умов (5.8) і (5.9).

3. Струм плавкої вставки запобіжника, що служить для захисту проводів електричної лінії від струмів короткого замикання, повинний задовольняти співвідношенню

$$I_{\text{вст}} \leq 3 \cdot I_{\text{д}}, \quad (5.10)$$

де $I_{\text{д}}$ – допустимий тривалий струм проводу або кабелю.

При захисті лінії максимальними автоматичними вимикачами номінальний струм уставки автомата обирають за аналогічних умов

$$I_{\text{уст}} \geq I_{\text{р}}, \quad (5.11)$$

$$I_{\text{уст}} \geq I_{\text{пуск}} / \alpha, \quad (5.12)$$

де α приймають рівним 4–6.

Крім того, якщо автоматичний вимикач має комбінований розчіплювач, що спрацьовує миттєво при струмах короткого замикання і з витримкою часу при струмі перевантаження в колі, то повинна виконуватися умова

$$I_{уст} \leq I_{д} . \quad (5.13)$$

Якщо ж мається тільки максимальний розчеплювач миттєвої дії, то повинна виконуватися умова

$$I_{уст} \leq 4,5 \times I_{д} . \quad (5.14)$$

При виборі плавкої вставки лінії, що живить групу асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, номінальний струм плавкої вставки обирають за умови

$$I_{вст} \geq \frac{I_{р} + (I_{пуск} - I_{н})}{2,5} , \quad (5.15)$$

а номінальний струм уставки автоматичного вимикача

$$I_{уст} \geq I_{р} + (I_{пуск} - I_{н}) , \quad (5.16)$$

де $I_{р}$ – максимальний розрахунковий струм в лінії;

$I_{пуск}$, $I_{н}$ – пусковий і номінальний струм самого потужного електродвигуна.

При захисті магістральної лінії, що живить кілька асинхронних короткозамкнених електродвигунів, можливі випадки, коли величина $I_{пуск}/\alpha$ виявляється менше розрахункового струму магістралі, у цьому випадку номінальний струм плавкої вставки й уставки автомата обирають за умов:

$$I_{вст} \geq I_{р}; I_{уст} \geq I_{р} . \quad (5.17)$$

Оцінку пікового струму лінії можна провести за умови

$$I_{\text{пiк}} = I_{\text{пуск}} + I_{\text{р}} - k_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.м}}, \quad (5.18)$$

де $I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм електродвигуна найбільшої потужності, А;

$I_{\text{р}}$ – розрахунковий максимальний струм усіх електроприймачів лінії, А;

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання механізму з електродвигуном найбільшої потужності;

$I_{\text{н.м}}$ – номінальний струм електродвигуна найбільшої потужності (з найбільшим пусковим струмом), А.

Для освітлювальних мереж з одночасним увімкненням групи ламп розжарювання, у яку входять лампи потужністю 500 Вт і вище, необхідно враховувати пусковий струм, що перевищує номінальний у 10–20 разів, захисні апарати обирають за умов:

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,75}; \quad I_{\text{уст}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{р.о}}; \quad (5.19)$$

де $I_{\text{р.о}}$ – розрахунковий (максимальний) струм освітлювальної лінії.

Для ліній із ртутними лампами високого тиску ДРЛ, що мають кратність пускового струму 2,5–3 і велику кратність пуску, величини $I_{\text{вст}}$ і $I_{\text{уст}}$ обирають за умов:

$$I_{\text{вст}} \geq 1,1 I_{\text{р.о}}; \quad I_{\text{уст}} \geq 1,25 I_{\text{р.о}}. \quad (5.20)$$

За отриманими розрахунковими даними електричного захисту ліній обирають стандартну плавку вставку або автоматичний вимикач на найближчий номінальний струм, виходячи з ряду стандартних номінальних струмів, А: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1 000.

Потім необхідно уточнити величину перерізу проводу або кабелю так, щоб припустиме тривале навантаження на нього не було менше ніж 100–125 %

номінального струму плавкої вставки запобіжника або уставки автоматичного вимикача.

Мережі на струми 500 А і вище виконують шинопроводом.

5.4 Вибір потужності та визначення втрат у трансформаторах

Необхідне значення сумарної номінальної потужності трансформаторів підстанції можна визначити за формулою

$$S_{н.т} = S_p/m, \quad (5.21)$$

де m – коефіцієнт кратності допустимого навантаження (для масляних трансформаторів коефіцієнт кратності 1,05).

Далі, виходячи з цього необхідного значення сумарної номінальної потужності, залежно від необхідної надійності функціонування системи електропостачання, за каталожними даними (див. дод. В, табл. В.1 і В.2) обирають кількість і потужність трансформаторів підстанції.

В усіх випадках прагнуть мати мінімальну кількість типорозмірів трансформаторів і їх мінімальну кількість на кожній підстанції, що спрощує обслуговування трансформаторів при мінімумі витрат.

При виборі для однієї підстанції двох трансформаторів, наприклад у випадку споживачів першої категорії, під'єднаних до цієї підстанції, потужність кожного трансформатора доцільно прийняти рівною 65 % від повної потужності споживача. У цьому випадку при виході з ладу одного трансформатора другий справний трансформатор буде завантажений на 130 % номінальної потужності, що допускається за нормативами при аварійній ситуації.

Втрати активної потужності обраних трансформаторів можна визначити за такими співвідношеннями:

$$\Delta P_T = \Delta P'_X + k_3^2 \cdot \Delta P'_K; \quad (5.22)$$

$$\text{де} \quad \Delta P'_X = \Delta P_X + k_{\text{ПВ}}^2 \cdot \Delta Q_X; \quad (5.23)$$

$$\Delta Q_X = S_{\text{Н.ТР}} \cdot I_{\text{ХХ}} / 100; \quad (5.24)$$

$$\Delta P'_K = \Delta P_K + k_{\text{ПВ}} \cdot \Delta Q_T; \quad (5.25)$$

$$\Delta Q_T = S_{\text{Н.ТР}} \cdot U_K / 100, \quad (5.26)$$

де $\Delta P'_X$ – зведені втрати потужності холостого ходу;

k_3 – коефіцієнт навантаження трансформатора, $k_3 = S_{\text{р.тр}} / S_{\text{н.тр}}$;

$S_{\text{р.тр}}$ – середня розрахункова потужність навантаження трансформатора;

$S_{\text{н.тр}}$ – номінальна потужність трансформатора;

$\Delta P'_K$ – зведені втрати потужності короткого замикання;

ΔP_X – втрати потужності холостого ходу (прирівнюються до втрат у сталі трансформатора);

$k_{\text{ПВ}}$ – коефіцієнт підвищення втрат, який приймається рівним 0,05 кВт/кВАр;

ΔQ_X – реактивна потужність холостого ходу трансформатора;

$I_{\text{ХХ}}$ – струм холостого ходу трансформатора у процентах;

ΔP_K – втрати потужності короткого замикання трансформатора (втрати в міді трансформатора);

ΔQ_T – реактивна потужність, яка споживається трансформатором;

U_K – напруга короткого замикання трансформатора у відсотках.

Для спрощеного визначення втрат у трансформаторі рекомендується користуватися такими формулами:

$$\Delta P_T = (0,02-0,025) \cdot S_{\text{н.тр}}; \quad (5.27)$$

$$\Delta Q_T = (0,105-0,125) \cdot S_{\text{н.тр}}. \quad (5.28)$$

При введенні в експлуатацію трансформаторів варто мати на увазі, що для нормальної роботи електроустаткування й освітлення на вторинній обмотці трансформаторних підстанцій напруга при холостому ході повинна бути на 10% більше номінальної. Установити необхідне перевищення номінальної напруги на холостому ході можна за допомогою перемикання спеціальних

вивідних витків на вторинній обмотці трансформаторів.

Контрольні запитання до теми 5

1. Які питання вирішують при проектуванні схем електропостачання будинків і споруд?
2. Які положення враховують при проведенні розрахунків електричних мереж?
3. Як визначають переріз проводів і кабелів?
4. Які відхилення напруги допускаються на електроприймачах?
5. Як обирають плавкі вставки запобіжників?
6. Як обирають автоматичні вимикачі?
7. Як враховують пусковий струм асинхронних електродвигунів?
8. Як обирають потужність трансформатора підстанції?
9. Як враховують втрати у трансформаторах?
10. Які коефіцієнти застосовують для спрощених розрахунків втрат у трансформаторах?

ТЕМА 6 ЗАХИСТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

6.1 Види захисту електричної мережі

Режим електричної мережі, при якому електричний струм значною мірою перевищує розрахункові значення, вважається аварійним. Аварійні режими виникають у випадках руйнування ізоляції (короткі замикання) або перевантаження елементів електричної мережі та призводять до тяжких наслідків: вихід з ладу електроустаткування, пожежі, ураження персоналу електричним струмом.

Короткі замикання. У наслідок руйнування або поверхневого перекриття ізоляції, або неправильного монтажу схеми можливі одно-, дво- і трифазні КЗ. При замиканні напруги однієї з фаз електричної мережі на землю, або нульовий провід наявне однофазне КЗ; при замиканні двох фаз між собою або на землю – двофазне КЗ. Трифазне КЗ наявне при замиканні трьох фаз між собою або на землю.

Струми КЗ обмежені лише невеликими опорами короткозамкненої лінії й досягають значень, що у десятки разів перевищують номінальні струми приєднаних електроприймачів, а також припустимі струми провідників. Вони чинять значну динамічну і термічну дію на струмопровідні частини й викликають їхній вихід з ладу. Саме тому важливо локалізувати аварію – вимкнути в можливо короткий термін ушкоджену ділянку мережі.

Перевантаження – розповсюджений в електричних мережах вид аварії, за якої спостерігається проходження провідниками, в обмотках електродвигунів і трансформаторів підвищених струмів, які викликають їхнє нагрівання до температур вищих за припустимі.

Перевантаження також можуть принести велику шкоду, тому що викликають прискорене старіння і руйнування ізоляції, що може також призвести до КЗ. Проте перевантаження не призводять до негайного виходу з ладу електроустаткування. У багатьох випадках, особливо за наявності

кваліфікованого експлуатаційного персоналу і достатнього контролю за режимом роботи електроустаткування, такі перевантаження малоймовірні.

Нижче наведені основні вимоги стосовно захисту мереж до 1 кВ [7, глава 3.1].

Захист від коротких замикань. Усі електричні мережі промислових підприємств, житлових і суспільних будинків повинні мати захист від струмів КЗ із найменшим часом відключення і забезпеченням по змозі вимог селективності. При цьому захист повинний забезпечувати відключення аварійної ділянки при КЗ наприкінці захищеної лінії: а) однофазних і багатофазних – у мережах із глухозаземленою нейтраллю; б) двофазних і трифазних – у мережах з ізольованою нейтраллю.

Вимога щодо найменшого часу відключення забезпечується правильним вибором апаратів захисту, їх належною конструкцією і захисною характеристикою. Що стосується селективності дії, то ПУЕ вимагають її дотримання лише по можливості. Суть питання полягає у тому, що струми КЗ проходять через всі апарати захисту, встановлені в ланцюзі, починаючи від джерела живлення, а не тільки через апарати, найближчі до місця ушкодження.

Одночасне миттєве спрацювання всіх апаратів захисту кола неминуче викликало б припинення живлення великої групи електроприймачів, підключених до справних ділянок кола. Такий перебіг в електропостачанні при КЗ у будь-якому елементі мережі, звичайно, вкрай небажаний. Тому доцільно вибирати й розміщати апарати захисту так, щоб їхнє спрацювання відбувалося з деяким зрушенням за часом (витримкою часу) у міру їхнього віддалення від джерела живлення або головної ланки мережі.

При великих значеннях струмів КЗ можливі неселективні спрацювання захисту внаслідок розкиду характеристик, особливо запобіжників. Разом з тим будь-яка затримка з відключенням ушкодженої ділянки небезпечна, тому що може призвести до ще більших ушкоджень. Ось чому, під час проектування доводиться розв'язувати питання про те, що важливіше: отримати швидкість відключення або обов'язково мати селективність. У випадку житлових і

більшості громадських будинків першу вимогу варто вважати більш важливою. При цьому потрібно ще врахувати, що дотримання селективності в багатьох випадках може зажадати збільшення перерізів проводів, тобто подорожчання всієї електроустановки.

Лише у великих унікальних громадських спорудах (торговельно-розважальних центрах тощо) або особливо відповідальних об'єктах (музеї, театри тощо), попри перевитрати провідникового матеріалу необхідно приділяти більш серйозну увагу селективності дії захисту, однак пріоритет вимоги щодо швидкого відключення залишається в силі.

Захист від перевантаження. Від перевантаження мають бути захищені всі мережі усередині приміщень, виконані відкрито прокладеними незахищеними ізолюваними провідниками. Крім того, захистові від перевантаження в житлових і громадських будинках підлягають мережі, виконані захищеними провідниками, провідниками, прокладеними в трубах, у вогнетривких будівельних конструкціях, до яких приєднані освітлювальні електроприймачі, а також побутові та переносні електроприймачі (праски, чайники, електроплитки, кімнатні холодильники, пральні машини, пылесоси тощо).

Силові мережі захищають від перевантаження лише при відкритій прокладці цих мереж незахищеними ізолюваними провідниками з горючою оболонкою, а також і при скритій прокладці або при відкритій прокладці захищеними проводами й кабелями, але лише в тих випадках, коли за умовами технологічного процесу або режиму роботи мережі може виникати тривале перевантаження проводів і кабелів. У житлових і громадських будинках таких умов зазвичай у силових мережах не існує, тому вони захищаються тільки від КЗ. Виключення складають мережі живлення силових електроприймачів (ліфти, протипожежні пристрої тощо), що відносяться до І категорії за надійністю електропостачання, при централізованому встановленні АВР (наприклад, на ВРП). Такі мережі доцільно захищати й від перевантаження.

6.2 Апарати захисту

Для захисту внутрішніх мереж житлових і громадських будинків 400/230 В застосовують плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі.

Силові електроприймачі, крім того, часто захищають від перевантажень за допомогою теплових реле, вбудованих у магнітні пускачі. Магнітні пускачі здійснюють при цьому і захист від самозапуску при короткочасному зникненні напруги. Самозапуск припустимий лише в системах димозахисту й у колах пожежних pomp, що варто враховувати при розрахунку мережі і виборі апаратів захисту.

Однак головні контакти магнітних пускачів не розраховані на вимикання струмів КЗ. Крім того, теплові реле більшості наявних конструкцій магнітних пускачів самі мають потребу в захисті від КЗ, тому що при проходженні струмів КЗ нагрівальний елемент може перегоріти швидше, ніж реле встигне вимкнути електродвигун. Тому при застосуванні магнітних пускачів з тепловими реле для захисту від перевантажень необхідно додатково встановлювати в цих колах запобіжники або автоматичні вимикачі для захисту від КЗ.

Дозволяється вважати ці реле термічно стійкими без перевірки розрахунком, якщо відгалуження до електроприймача захищено плавкою вставкою з номінальним струмом, що не перевищує найбільшого тривалого припустимого струму теплового реле більше ніж у 4 рази, або автоматичним вимикачем, номінальний струм теплового роз'єднувача якого перевищує довгостроково допустимий струм теплового реле більш ніж у 2 рази.

Для прикладу розглянемо деякі апарати захисту.

Запобіжники. У силових і освітлювальних мережах напругою до 500 В часто встановлюються запобіжники серії ПН-2 (рис. 6.1), які складається із замінного плавкого елемента, контактів і опорних ізоляторів, що з'єднуються механічно та електрично. Патрон нерозбірний, містить порцеляновий корпус з металевими ковпачками на торцях. У середині патрона розміщено

струмопровідний плавкий елемент, з'єднаний електрично з ковпачком, і дрібнозернистий наповнювач (кварцовий пісок), що забезпечує інтенсивне гасіння електричної дуги при вимкненні струму.



Рисунок 6.1 – Запобіжник серії ПН-2

Патрони з пристроєм сигналізації спрацьовування мають на одному торці утоплений підпружинений бойок (індикатор), закритий тонкою металевою мембраною. При спрацьовуванні бойок запобіжника пробиває мембрану і висувається з патрона.

Гасіння дуги відбуваються настільки швидко, що при КЗ струм не встигає досягти свого амплітудного значення. Тому подібні запобіжники є струмообмежувальними. Наприклад, запобіжники серії ПН-2 з патронами на 100 і 250 А пропускають струм не більш 5 кА при встановленні в мережах зі значно більшими струмами КЗ.

Для захисту від перевантажень та коротких замикань силових та допоміжних мереж електроустановок застосовуються також розбірні запобіжники зі змінним елементом (плавкою вставкою) серії ПР-2 (рис. 6.2). У старих конструкціях запобіжників цієї серії дугогасіння відбувається шляхом інтенсивного виділення газів з поверхні фібри при перегорянні вставки. Нові конструкції запобіжників ПР-2, корпуси й кришки яких виготовляються з

негорючих полімерів, мають збільшений ресурс роботи й вищу електроізоляційну міцність.

Основними елементами запобіжників ПР-2 є плавка вставка (рис. 6.2, б) й дугогасильний пристрій (корпус запобіжника), що гасить дугу, яка виникає після плавлення вставки.

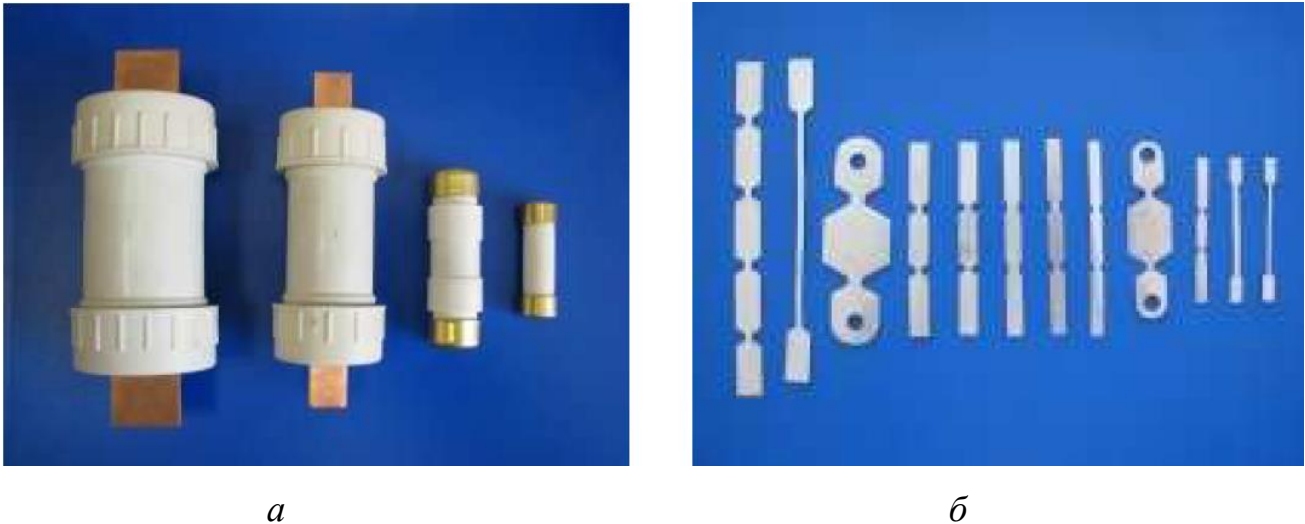


Рисунок 6.2 – Запобіжники серії ПР-2:

а – загальний вигляд; б – плавка вставка

Процес гасіння дуги в запобіжнику ПР-2 відбувається у такий спосіб. При відключенні згорають звужені перешийки плавкої вставки, після чого виникає дуга. Під дією високої температури в герметичному патроні відбувається збільшення тиску, у зв'язку з чим підіймається вольт-амперна характеристика дуги, що сприяє її швидкому гасінню.

Плавка вставка запобіжника ПР-2 має від одного до чотирьох звужень залежно від номінальної напруги. Звужені ділянки сприяють швидкому її топленню при короткому замиканні та створюють процес струмообмеження.

У таблиці 6.1 наведені основні технічні дані запобіжників ПР-2 і ПН-2.

Захисні характеристики запобіжників. Час розплавлення плавкої вставки запобіжника залежить від струму. Чим більше струм, тим швидше розплавляється плавка вставка. Залежність повного часу відключення (тривалість розплавлення плавкої вставки та горіння дуги) від струму, що

відключається, називається часово-струмовою або захисною характеристикою. Оскільки з підвищенням кратності струму час перегорання плавкої вставки зменшується, характеристика називається зворотно-залежною.

Таблиця 6.1 – Технічні дані деяких запобіжників

Тип запобіжника	Номінальний струм патрона, А	Номінальний струм плавкої вставки, А	Конструкція патрона	Граничний струм вимкнення при напрузі 500 В, кА
ПР-2	15 60 100 200 350 600 1 000	6, 10, 15 15, 20, 25, 35, 45, 60 60, 80, 100 100,125, 160 200, 225, 260, 300, 350 350, 450, 500, 600 600, 700, 850, 1 000	Розбірний без наповнювача	
ПН-2-100	100	30, 40, 50, 60, 100	Не розбірний з наповнювачем	50
ПН-2-250	250	80, 100, 120, 150, 200, 250		40
ПР-2-400	400	200, 250, 300, 350,400		25
ПР-2-600	600	350, 450, 500, 600		10

На рисунку 6.3 показані усереднені часово-струмові характеристики запобіжників ПН-2. Відзначимо, що залежно від виробничих допусків, матеріалу вставки, його старіння, стану контактних з'єднань, впливу навколишнього середовища час спрацювання при тому самому струмові може коливатися в значних межах (до $\pm 50\%$). Це недолік плавких запобіжників який утруднює селективну роботу захисту.

Рекомендується для забезпечення селективної роботи запобіжників, щоб кожна наступна в сторону джерела живлення плавка вставка була на дві сходинки більше попередньої, якщо це не призводить до збільшення перерізу проводів. Різниця в одну ступінь є обов'язковою у всіх випадках. Для особливо відповідальних електроприймачів при виборі плавких уставок запобіжників необхідно враховувати розкид захисних характеристик.

Автоматичні вимикачі це більш досконалі апарати захисту, які порівняно з запобіжниками мають низку переваг:

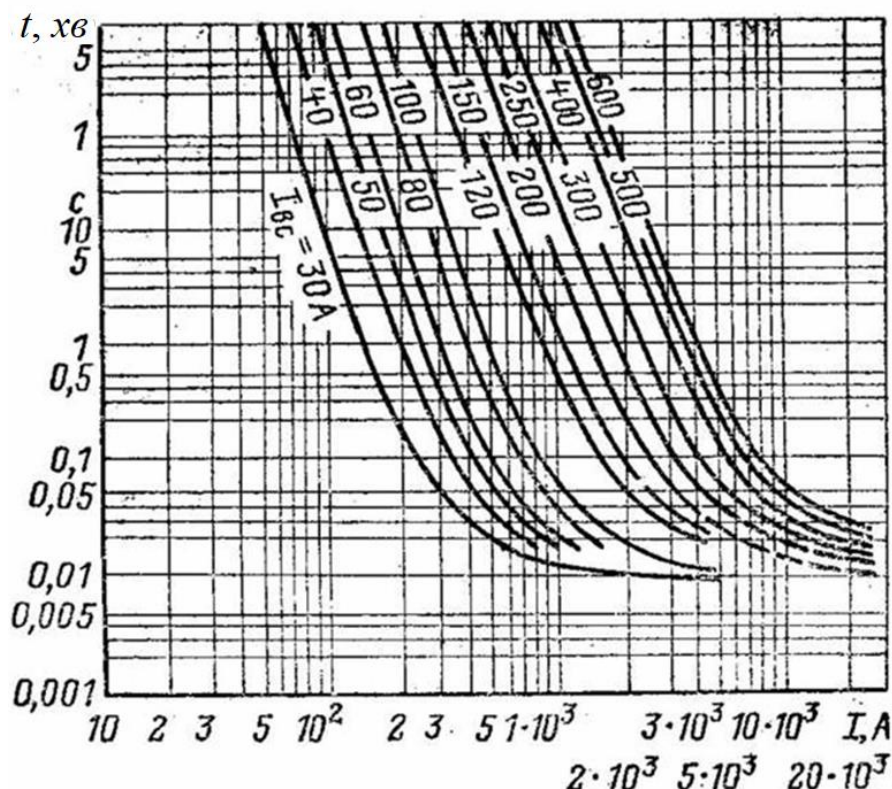


Рисунок 6.3 – Часово-струмові характеристики запобіжників серії ПР-2

- при перевантаженні або КЗ автоматичний вимикач відключає всі три фази кола, яке захищається, що особливо важливо при захисті відгалуження до електродвигуна (запобігається можливість роботи на двох фазах);

- автоматичний вимикач після спрацювання швидко готовий до роботи, тоді як у запобіжнику потрібно замінювати калібровану вставку або навіть патрон;

- автоматичні вимикачі мають більш точні захисні характеристики;

- автоматичні вимикачі крім функцій захисту можуть бути використані для нечастих комутацій електричних кіл;

- деякі типи автоматичних вимикачів мають убудовані допоміжні контакти, які використовують в колах блокування і сигналізації, а також незалежні розчеплювачі, які дозволяють здійснювати дистанційне вимикання. Випускаються також автоматичні вимикачі з електроприводом, що дозволяє мати дистанційне включення апарата.

Промисловість випускає також автоматичні вимикачі укомплектовані тепловими, електромагнітними або комбінованими розчеплювачами (останні становлять собою сполучення теплового й електромагнітного роз'єднувача). Час спрацьовування теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів, так само як і запобіжників, зменшується зі збільшенням струму, тобто вони мають зворотно залежну від струму характеристику. Електромагнітні розчеплювачі спрацьовують практично миттєво при струмі, на який вони налаштовані.

Розчеплювачі характеризуються номінальним струмом, тобто струмом, який вони витримують необмежено довго. Найменший струм, що викликає відключення автоматичного вимикача, називається **струмом зрушення** або струмом спрацьовування. Під уставкою розчеплювача розуміється налаштування його на обране значення струму зрушення. Уставка струму електромагнітного розчеплювача на миттєве спрацьовування називається **відсіченням**. Важливо підкреслити, що номінальний струм автоматичного вимикача характеризує пропускну здатність його контактних частин і відповідає номінальному струмові його найбільшого теплового розчеплювача.

Автоматичні вимикачі поділяють на нерегульовані й регульовані. До перших відносять автоматичні вимикачі, уставки розчеплювачів яких відрегульовані на заводі-виготовлювачі й не мають ніяких пристроїв для регулювання в процесі монтажу та експлуатації. Інша група має спеціальні пристрої, що дозволяють змінювати струм уставки шляхом впливу на механічну систему автоматичного вимикача.

Деякі типи автоматичних вимикачів на великі струми (1 000 А й більше) мають годинникові механізми, за допомогою яких можливо забезпечити селективну роботу захисту.

Вимикачі можуть мати електромагнітний і тепловий розчеплювачі або тільки електромагнітний. Можливо регулювання номінальних струмів розчеплювачів у межах 0,9–1,15 значення номінального струму. Розчеплювачі з номінальним струмом, рівним номінальному струму автоматичного вимикача, регулюються тільки в сторону зменшення.

Розглянемо для прикладу характеристики деяких типів автоматичних вимикачів (див. також дод. Г).

Автоматичні вимикачі серії АЕ. На рисунку 6.4 показані захисні характеристики автоматичних вимикачів серії АЕ20 за наявності пристроїв температурної компенсації (рис. 6.4, а) і без температурної компенсації (рис. 6.4, б). Уставка електромагнітних розчеплювачів за струмом спрацьовування в зоні КЗ (струм відсічення) для усіх вимикачів серії АЕ20 дорівнює $12 \cdot I_p$. Електромагнітні розчеплювачі не спрацьовують при струмі, рівному 0,8 струму уставки, і спрацьовують протягом 0,04 с при струмі 1,2 струму уставки й більше.

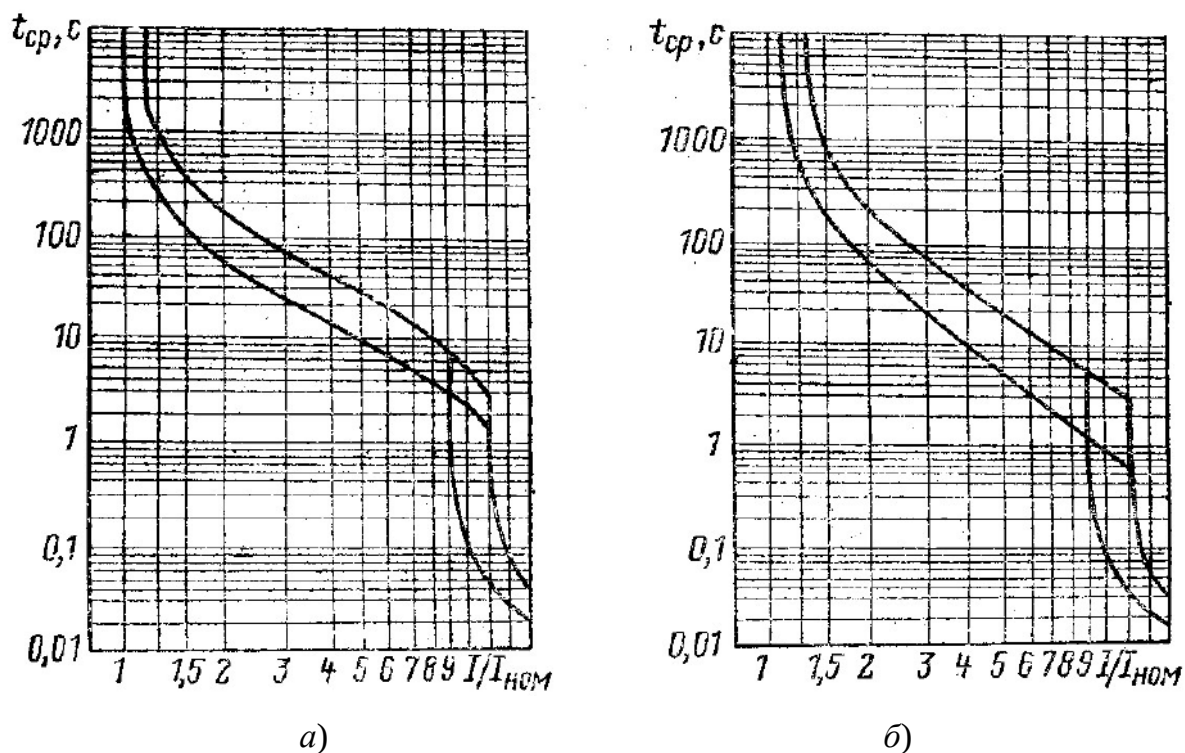


Рисунок 6.4 – Захисні характеристики вимикачів серії АЕ20 з комбінованими розчеплювачами при температурі 20 °С:

а – з температурною компенсацією; б – без температурної компенсації

Автоматичні вимикачі серії ВА200Х призначені для захисту низьковольтних електричних мереж від перевантажень та струмів короткого замикання, а також для оперативних відключень електричних кіл (випускаються типами ВА-2000, ВА-2001, ВА-2002, ВА-2003, ВА-2004, ВА-2006, ВА-2010-8).

Серія автоматичних вимикачів ВА-2000 виготовляється з часово-струмовою характеристикою відімкнення типу В (допускаються короточасні перевантаження у 3–5-кратному розмірі від номінального струму). Призначені для захисту переважно активних споживачів, та кіл у побутових та адміністративних спорудах. Ряд номінальних струмів цих вимикачів – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 А.

Зовнішній вигляд автоматичних вимикачів показано на рисунку 6.5.



Рисунок 6.5 – Автоматичні вимикачі:

а – однополюсний; б – двополюсний; в – триполюсний

Серія вимикачів ВА-2001 виготовляється з часово-струмовою характеристикою типу С (допускаються короточасні перевантаження у 5–10-кратному розмірі від номінального струму). Призначені для використання в умовах де присутні електричні двигуни з нормальними умовами пуску, та інші навантаження з допустимими короточасними перевантаженнями. Ряд номінальних струмів цих вимикачів – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 А.

Дво-, три- і чотириполюсні автоматичні вимикачі серії ВА-2004 призначені для захисту електричних кіл від перевантажень і струмів короткого замикання, а також для оперативних комутацій електричних кіл на струми від 3 А до 800 А.

Триполюсні низьковольтні автоматичні вимикачі серії ВА-2005 (рис. 6.6), призначені для захисту електричних двигунів від перенавантажень і струмів короткого замикання, а також для оперативних їхніх комутацій.



Рисунок 6.6 – Автоматичні вимикачі ВА-2005

Включення здійснюється вручну, шляхом натискання кнопки «Пуск»-«1» у схемі керування вмиканням-вимиканням електроприймача.

Відключення здійснюється вручну, шляхом натискання кнопки «Стоп»-«0», або автоматично при спрацюванні терромагнітного захисту або розчеплювачів напруги.

Ручне керування можливе при застосуванні автоматичного вимикача як електромагнітного пускача.

Автоматичне та дистанційне керування можливе тільки при використанні автоматичного вимикача разом з контактором.

Технічні характеристики автоматичних вимикачів серії ВА-2005 наведені в таблиці Г.4 додатка Г.

6.3 Вибір і розміщення апаратів захисту

При виборі апаратів захисту дотримуються таких основних вимог.

1. Напруга і номінальний струм апаратів повинні відповідати напрузі та

розрахунковому тривалому струмові кола. Номінальні струми розчеплювачів автоматичних вимикачів і плавких уставок запобіжників вибирають по змозі найменшими за розрахунковими струмами цих ділянок мережі. Апарати не повинні відключати установку при перевантаженнях, які виникають в умовах нормальної експлуатації, наприклад при включенні короткозамкненого електродвигуна, одночасному вмиканні групи ламп тощо.

2. Апарати захисту повинні забезпечувати надійне відключення одно- і багатозначних замикань у мережах із глухо заземленою нейтраллю.

3. Повинна бути забезпечена по змозі селективність дії захисту.

З урахуванням зазначених вимог варто вибирати плавкі вставки запобіжників і розчеплювачі автоматичних вимикачів по співвідношеннях, поданих у таблиці 6.2, що прийняті на підставі каталожних даних і захисних характеристик.

У таблиці 6.2 і далі прийняті наступні позначення: $I_{В.З.}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника, А; I_p – номінальний струм теплового або комбінованого розчеплювача, А; $I_{уст.е.р}$ – струм уставки (спрацьовування) електромагнітного розчеплювача миттєвої дії, А; I_{max} – розрахунковий струм навантаження, А; $I_{ном.е}$ – номінальний струм електроприймача, А; $I_{пуск}$ – пусковий струм короткозамкнутого електродвигуна або іншого електроприймача, А; $I'_{пуск}$ – найбільший пусковий струм одного електродвигуна в даній групі; при одночасному запуску групи електродвигунів сумарний пусковий струм цієї групи, А; I'_{max} – розрахунковий струм інших електродвигунів групи, що працюють у тривалому режимі, А; α – коефіцієнт, що залежить від умов і тривалості пускового періоду. Може прийматися рівним 2,5 у всіх випадках, за винятком ліній до електродвигунів із тривалістю пускового періоду не більш 2–2,5 с (великі вентилятори з великими маховими масами, ліфти тощо); у цих випадках приймається $\alpha = 1,6$.

Теплові елементи реле, що вбудовуються в магнітні пускачі, обирають за формулами, наведеними у таблиці 6.2 для автоматичних вимикачів з тепловими розчеплювачами.

Таблиця 6.2 – Розрахункові формули для вибору апаратів захисту в силових і освітлювальних колах

Апарат захисту	Силові кола		Кола освітлення		
	Лінії до одиночних електроприймачів	Лінії до групових електроприймачів	Лампи розжарювання	Люмінесцентні лампи	Лампи ДРЛ, ДРИ, ДНаТ
Плавка вставка запобіжника	$I_{В.3} \geq I_{ном.е}$ $I_{В3} \geq I_{пуск}/\alpha$	$I_{В.3} \geq I_{max}$ $I_{В3} \geq (I'_{пуск} + I'_{max})/\alpha$	$I_{В.3} \geq I_{max}$	$I_{В.3} \geq I_{max}$	$I_{В.3} \geq 1,2 \cdot I_{max}$
Тепловий розчеплювач автоматичного вимикача з нерегульованою і регульованою зворотно-залежною від струму характеристикою з номінальним струмом розчеплення	$I_p \geq 1,25 \cdot I_{ном.е}^{**}$	$I_p \geq 1,1 \cdot I_{max}^{**}$	$I_p \geq I_{max}$	$I_p \geq I_{max}$	$I_p \geq 1,3 \cdot I_{max}$
Комбінований розчеплювач автоматичного вимикача з нерегульованою і регульованою зворотно-залежною від струму характеристикою з номінальним струмом розчеплення	$I_p \geq 1,25 \cdot I_{ном.е}^{**}$	$I_p \geq 1,1 \cdot I_{max}^{**}$ $I_{уст.е.р} \geq 1,2 \cdot (I'_{пуск} + I'_{max})/\alpha$	$I_p \geq I_{max}^*$	$I_p \geq I_{max}$	$I_p \geq 1,3 \cdot I_{max}$
* Формула для автоматичних вимикачів з кратністю струму відсічення не менше 10.					
** При установці автоматичних вимикачів у шафі підвищувальні коефіцієнти не вводять (формули справедливі для температури навколишнього середовища 40 °С). Для ліній до електроприймачів, які не мають електродвигунів, коефіцієнти 1,25 і 1,1 не застосовують.					

Нормовані величини. Групові лінії мереж внутрішнього освітлення повинні бути захищені запобіжниками або автоматичними вимикачами на струм не більше 25 А. Винятком є групові лінії, що живлять газорозрядні лампи одиничною потужністю 125 Вт і більше або лампи розжарювання 500 Вт і більше, які допускається захищати плавкими вставками запобіжників або розчеплювачами автоматичних вимикачів на струм до 63 А. Струм апаратів захисту групових ліній, що живлять лампи потужністю 10 кВт і більше, повинен відповідати струму лампи.

Для групових ліній, що живлять освітлювальні й побутові електроприймачі квартир, плавкі вставки запобіжників або теплові та комбіновані розчеплювачі автоматичних вимикачів для групової освітлювальної мережі повинні бути 16 А, штепсельної мережі – також 16 А (при підключенні кондиціонера – 25 А); для самостійної групи живлення побутових машин до 4 кВт – 25 А, для групи живлення електроплит до 5,8 кВт і до 8 кВт – відповідно 32 і 40 А; для ліній від поверхових щитків у газифікованих будинках і будинках з електроплитами до 5,8 кВт – 40 А, у будинках з електроплитами від 5,9 до 8 кВт – 50 А.

Вимоги, яких необхідно дотримуватись при розміщенні апаратів захисту в електричних мережах, наведені в ПУЕ [7] та ДБН В.2.5-23-2025 [10]. Розглянемо основні положення цих вимог.

1. Апарати захисту повинні розташовуватися в місцях, максимально доступних для обслуговування, і так, щоб була виключена можливість їхніх механічних пошкоджень. Доступ до апаратів захисту з відкритими струмопровідними частинами дозволяється тільки кваліфікованому персоналу. Обладнання повинне бути виконане так, щоб при роботі з ним була виключена небезпека для обслуговуючого персоналу.

2. Апарати захисту потрібно встановлювати у всіх точках мережі, де переріз провідників зменшується в напрямку до місць споживання електроенергії.

3. Запобіжники й автоматичні вимикачі потрібно встановлювати на всіх нормально незаземлених фазах. У нульових проводах, зокрема у двопровідних групах, захисні апарати не встановлюють. Винятком є мережі у вибухонебезпечних приміщеннях класу В-1, де апарати захисту встановлюють у фазному і нульовому проводах. У цих приміщеннях для занулення прокладають самостійний провідник.

4. На квартирних групових щитах апарати захисту (запобіжники й автоматичні вимикачі) встановлюють тільки у фазних проводах. Перед лічильником встановлюють двополюсний вимикач, який вимикає не тільки фазний, але і робочий нульовий провід вводу у квартиру.

5. Установлення апаратів захисту в нульових проводах, що використовуються для занулення, забороняється.

6. При використанні провідників з негорючою оболонкою або при прокладанні їх у трубах, а також за умови, що переріз провідників між лінією живлення і захисним апаратом узятो не меншим, ніж після захисного апарата, допускається встановлювати апарати захисту на відстані до 6 м від живильної лінії. Відкрите прокладання провідників на цій ділянці допускається тільки в пожежобезпечних приміщеннях по негорючих поверхнях. Для відгалужень, виконаних провідниками в трубах або провідниками з негорючою оболонкою, що прокладаються у важкодоступних місцях (наприклад, на великій висоті), довжина незахищеної ділянки може бути до 30 м, при цьому переріз проводів повинен бути прийнятий за розрахунковим струмом, але не менше ніж 10 % пропускної здатності захищеної ділянки лінії.

Якщо це визнано доцільним за умовами експлуатації, допускається також не встановлювати апарати захисту: а) у місці зниження перерізу живильної лінії за її довжиною і на відгалуженні від неї, якщо захист попередньої ділянки лінії захищає ділянку зі зниженим перерізом або якщо незахищена ділянка лінії чи відгалуження від неї виконані провідниками, переріз яких прийнято не менше половини перерізу захищених ділянок; б) на відгалуженнях від живильної лінії провідників ланцюгів вимірювання, керування і сигналізації, якщо ці

провідники не виходять за межі відповідних машин чи щитів, або ці провідники виходять за їхні межі, але прокладені в трубах або мають вогнетривку оболонку.

Установлення апаратів захисту заборонено в колах керування і сигналізації, відключення яких може викликати небезпечні наслідки (наприклад, відключення пожежних pomp, аварійних вентиляторів тощо). Такі ланцюги варто виконувати провідниками з вогнетривкою оболонкою або прокладати у трубах.

Допускається виконання захисту різних ділянок однієї мережі запобіжниками та автоматичними вимикачами. При цьому рекомендується встановлювати запобіжники на головних ділянках мережі. Вибір апаратів здійснюється за їхніми захисними характеристиками.

Контрольні запитання до теми 6

1. Що розуміється під аварійним режимом електричної мережі?
2. Які види КЗ можливі в електричній мережі?
3. Поясніть наслідки перевантаження електричної мережі.
4. Які види захисту від КЗ?
5. Які види захисту від перевантаження?
6. Поясніть конструкцію і роботу запобіжника ПН-2.
7. Поясніть часово-струмові характеристики запобіжників ПН-2.
8. Які переваги автоматичних вимикачів у порівнянні із запобіжниками?
9. Поясніть особливості дії автоматичних вимикачів.
10. Поясніть основні технічні характеристики автоматичних вимикачів серії AE20.
11. Поясніть основні технічні характеристики автоматичних вимикачів серії ВА-2000.
12. Які основні вимоги до апаратів захисту?
13. Поясніть принцип роботи теплового реле.
14. Поясніть принцип роботи електромагнітного реле.

ТЕМА 7

КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Залежно від місця розташування електрообладнання живильних і розподільних мереж систем електропостачання можна поділити на три групи: зовнішнє, прибудоване і внутрішнє відносно житлових і громадських будинків.

До першої групи відносять різноманітні ТП, РП, повітряні й кабельні ЛЕП.

Другу групу утворюють ТП, РП, ВРП які знаходяться в приміщеннях, конструктивно з'єднаних з будинком, де знаходяться електроспоживачі.

До третьої групи відносять різноманітні ВРП, поверхові і квартирні щитки, головні розподільні щитки (ГРЩ), силові РП, щитки зі знижувальними трансформаторами, шафи і пункти з елементами автоматики протипожежних пристроїв, які знаходяться всередині житлових і громадських будинків. Вони зазвичай є комплектними пристроями для приймання і розподілу електроенергії в чотирипровідних електричних мережах до 1 кВ, в них змонтовані комутаційні й захисні апарати, вимірювальні прилади, в окремих випадках – апаратура автоматики.

Типізація конструктивних рішень будівельної частини споруд дає змогу уніфікувати елементи їхніх електроустановок і створити достатньо стабільну номенклатуру комплектних пристроїв.

У сучасних житлових і громадських будинках головним чином виконують приховані електропроводки. Відкриті проводки застосовують лише в підсобних приміщеннях – підвалах, технічних підпіллях, горищах і в технічних приміщеннях. Приховані проводки в приміщеннях із нормальним середовищем мають переваги перед відкритими проводками як за умовами естетичності, гігієнічності, безпеки й довговічності, так і за умовами вартості та трудомісткості їхнього монтажу. На вибір виду і траси прокладання прихованих електропроводок впливають розміщення електроприймачів і планувальні рішення. Не менше значення мають конструктивне виконання стін і

перекриттів будинку, способи виготовлення будівельних конструкцій і методи їхнього монтажу.

7.1 Розміщення трансформаторних підстанцій

Зазвичай в системах електропостачання використовують **комплектні трансформаторні підстанції (КТП)** різноманітного призначення: блокові підстанції (БКТП), кіоскові прохідні й тупикові, для міських електромереж (КТПММ), підстанції у бетонній оболонці (КТПБ – бетонна КТП), щоглові КТП, стовпові КТП, підстанції для прогріву бетону й ґрунту, підстанції для залізниць (КТПЗ), в яких установлюють сухі й масляні трансформатори потужністю від 10 кВА до 4 000 кВА на напругу 6 кВ, 10 кВ, 15 кВ, 20 кВ, 35 кВ.

Розглянемо загальні характеристики деяких КТП.

Бетонні трансформаторні підстанції КТПБ 6, 10, 20, 35 кВ потужністю до 2 500 кВА [13] призначені для живлення міських і промислових споживачів від кабельних мереж до 35 кВ. Мають підвищені шумоізоляційні й вогнетривкі характеристики, екологічно нешкідливі. Завдяки невеликим габаритам можуть бути застосовані в густозаселеній міській забудові.

Блоково-модульні комплектні трансформаторні підстанції БМКТП – 1 000...4 000/10(6)/0,4 [13] потужністю до 4 000 кВА напругою ВН 10 або 6 кВ, напругою НН 0,4 кВ становлять один або декілька блок-модулів, що встановлені на фундамент із цілком змонтованими в межах блоку електричними з'єднаннями (рис. 7.1). Призначені для постачання електроенергією промислових підприємств, логістичних центрів, складських комплексів, супермаркетів. Споруда блокової КТП обладнана освітленням та опаленням. Для регулювання освітлення, опалення і штучної вентиляції всередині блокових КТП є шафа власних потреб.



а



б

Рисунок 7.1 – Блоково-модульна КТП [13]:

а – зовні; б – усередині

КТП кіоскового типу (рис. 7.2) потужністю 25–630 кВА, напругою 6/0,4 кВ, 10/0,4 кВ призначені для електропостачання: котеджних містечок, дачних селищ; сільських господарств; невеликих промислових об'єктів і об'єктів виробничого призначення; організацій механізації будівництва в районах з помірним і холодним кліматом (від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$). КТП кіоскового типу вимагають мінімальних монтажних робіт і встановлюються на найпростіший фундамент. Вони мають цілком закритий доступ до трансформаторного відсіку, ввідного і розподільного пристроїв вищої й нижчої напруги, електричні й механічні блокування, що забезпечує безпечну роботу обслуговуючого персоналу.



Рисунок 7.2 – КТП кіоскового типу [13]

Ці КТП можуть мати кабельні або повітряні вводи й виводи. У КТП-1М кіоскового типу передбачений облік електроенергії (можлива установка модуля автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії), лінія вуличного освітлення, що включається автоматично за сигналом вбудованого реле.

Комплектні трансформаторні підстанції для міських електричних мереж КТПММ-250–2500/10(6)/0,4 [13] прохідного й тупикового типу потужністю 250 кВА, 400 кВА, 630 кВА, 1 000 кВА, 1 600 кВА, 2 500 кВА напругою ВН 10 або 6 кВ, напругою НН 0,4 кВ, частотою 50 Гц призначені для прийняття, перетворення й розподілу електричної енергії в одно-двопроменевих і петльовій схемах електропостачання міських електричних мереж у районах з помірним кліматом.

До складу КТП ММ входять:

- металевий каркас (кіоск) з трьох відсіків: ВН, НН і відділу силового трансформатора;
- розподільний пристрій з боку високої напруги РП ВН передбачає можливість установки розрядників 6–10 кВ типу РВО або ОПН;
- силовий трансформатор (масляний, сухий);
- розподільний пристрій з боку низької напруги РП НН;
- шафа вуличного освітлення.

У шафі РП ВН встановлені вимикачі навантаження ВНПР із пружинно-важільним приводом. У відсіку РП НН встановлені рубильники-запобіжники або автоматичні вимикачі, є загальний облік електроенергії й облік електроенергії вуличного освітлення. Вводи ВН – повітряні або кабельні, виводи НН – кабельні.

Конструкція КТПММ дозволяє транспортувати її разом із трансформатором і передбачає вільну заміну одного трансформатора на інший.

Схема електрична принципова КТП ММ показана на рисунку 7.3.

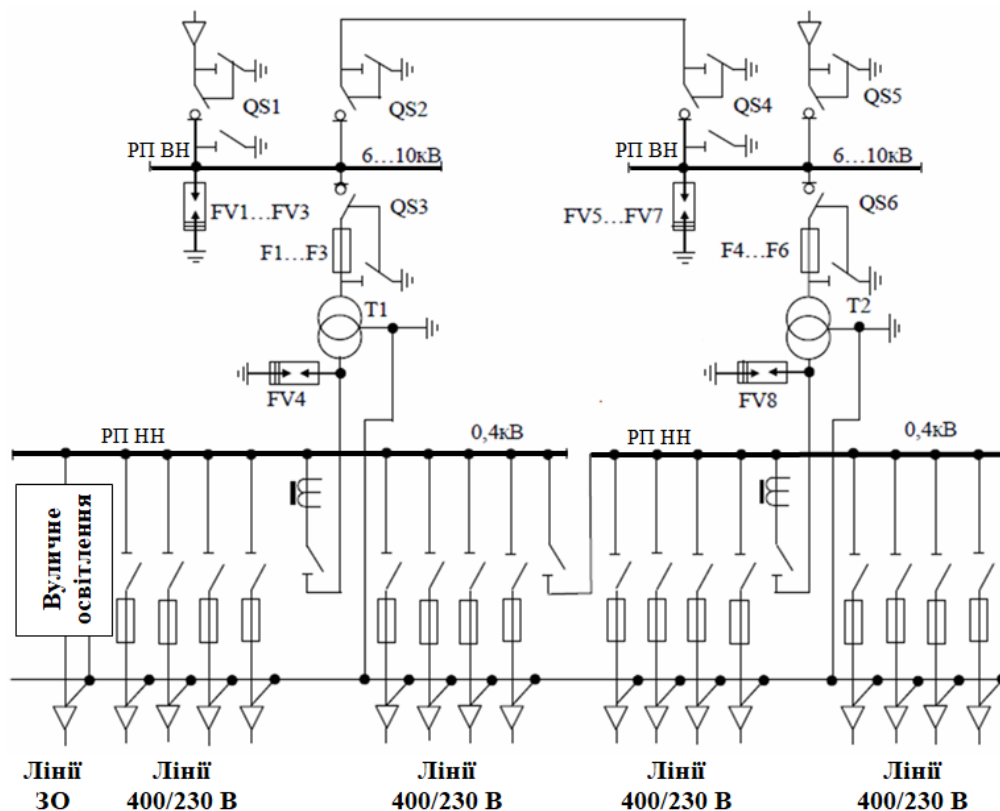


Рисунок 7.3 – Схема електрична принципова КТПММ

Закриті підстанції розташовують у закритих будівлях. В умовах будівництва такими будівлями можуть бути виробничі приміщення. Як приклад на рисунках 7.4 і 7.5 показані плани приміщень типових споруд таких підстанцій, а на рисунку 7.6 – зовнішній вигляд камери РП 10 кВ.

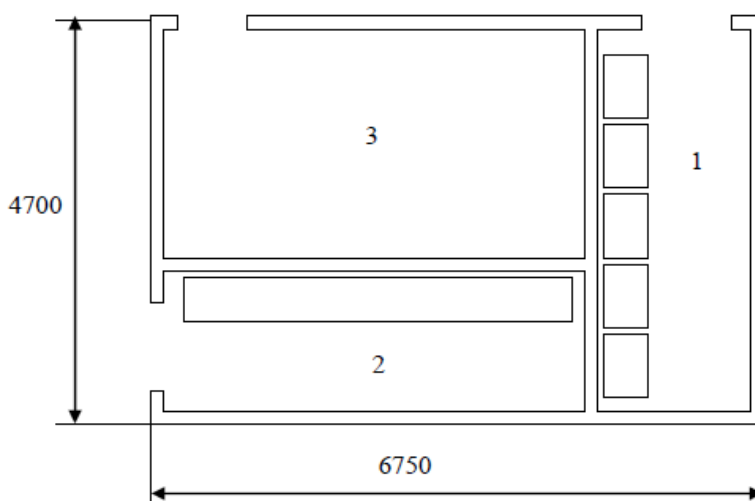


Рисунок 7.4 – План трикамерної закритої підстанції на 630 кВА:

1 – камера РП 0,4 кВ; 2 – камера РП 10 кВ; 3 – камера трансформатора.

Будівельний об'єм – 150 м³, площа забудови – 37,7 м²

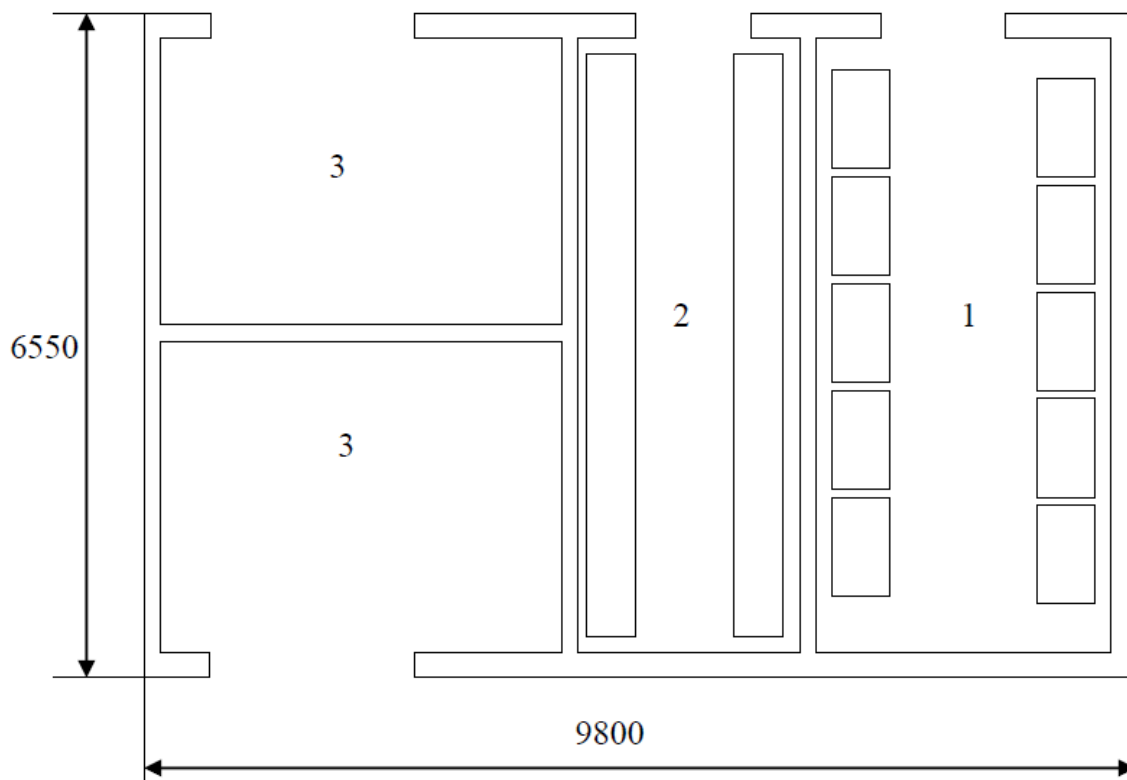


Рисунок 7.5 – План чотирикамерної закритої підстанції на 2×630 кВА:

1 – камера РП 0,4 кВ; 2 – камера РП10 кВ; 3 – камера трансформатор;

будівельний об'єм – 243 м^3 , площа забудови – $64,3 \text{ м}^2$

Закриті підстанції у спеціальних капітальних спорудах обладнують КТП промислового виготовлення для внутрішньої установки потужністю 100–1 000 кВА з кабельним і повітряним вводом. Основні технічні показники таких підстанцій наведені у таблиці 7.1.



Рисунок 7.6 – Камера РП-10 кВ

До закритих ТП також можна віднести КТП промислового виготовлення для зовнішнього встановлення (КТПН). Конструктивно КТПН – це зварений сталевий корпус з трьома відділеннями для апаратури 6-10 кВ, силового трансформатора і розподільної шафи 0,4 кВ.

Допускається повітряне і кабельне підключення до мережі. Повітряний ввід 6–10 кВ і вивід 0,4 кВ виконується через надбудову на даху корпусу підстанції. Кабельне підключення до мереж розташовують в нижній частині будівлі ПС. Встановлюється КТПН на спеціальному майданчику 3,7 м × 2,5 м (зазвичай на цегляному або бетонному фундаменті).

Таблиця 7.1 – Показники уніфікованих підстанцій міського типу

Тип ТП	Кількість і потужність трансформаторів, кВА	Площа забудови, м ²	Будівельний об'єм, м ³
В-21-160 м4	1 × (100–160)	17,3	125,7
В-41-400 м4	1 × (100–400)	14,3	148,6
В-42-400 м4	2 × (100–400)	30,03	463,0
К-31-400 м4	1 × (100–400)	32,2	127,5
К-31-630 м4	1 × 630	37,7	150,8
К-42-400 м4	2 × (100–400)	51,94	201,5
К-42-630 м4	2 × 630	64,25	243,4
КСК-42-630 м4	2 × 630	83,60	324,3

Промисловість випускає КТПН серії КТПН-66 і КТПН-72М (модернізований варіант серії КТПН-66). Основні технічні дані цих серій КТПН наведені у таблиці 7.2.

До закритих пересувних підстанцій відносять комплектні трансформаторні підстанції будівельного типу (БКТП – будівельні КТП). Рухомість цих підстанцій дозволяє в процесі будівництва встановлювати їх у центрах навантаження. Електрообладнання таких підстанцій розміщено у металічному корпусі, установленому на санях або рухомій платформі. Ввід 6(10) кВ і вивід 0,4/0,23 кВ підстанцій може бути кабельним або повітряним. Підстанції типу БКТП випускаються промисловістю потужністю до 1 000 кВА.

Таблиця 7.2 – Комплектні трансформаторні підстанції

Тип	Потужність, кВА	Напруга, кВ		Габаритні розміри, м	Маса, кг
		ВН	НН		
КТПН-62-320/180К	160–320	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 2,7	2 000
КТПН-62-320/180В	160–320	6–10	0,4	2,1 × 3,2 × 5,1	2 300
КТПН-62-320/180У	160–320	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 5,1	2 400
КТПН-62-630-К	630	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 2,7	2 400
КТПН-62-630-В	630	6–10	0,4	2,1 × 3,2 × 5,1	2 700
КТПН-62-630-У	630	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 5,1	2 800
КТПН-72М1-160-К	160	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 800
КТПН-72М1-250-К	250	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 850
КТПН-72М1-400-К	400	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 900

Примітка: остання літера у позначенні типу КТПН показує вид підключення до мережі: К – кабельний; В – повітряний; У – універсальний.

В умовах сучасного багатоповерхового житлового будівництва у місцях щільної міської забудови виникає потреба у вбудованих і прибудованих ТП. Під час розміщення вбудованих і прибудованих трансформаторних підстанцій у житлових будинках керуються вимогами ДБН В.2.5-23-2025 [10]. У цих випадках використовують сухі трансформатори. Трансформаторні підстанції заборонено розміщувати під (над) житловими приміщеннями. Особливу увагу приділяють забезпеченню санітарних вимог щодо обмеження рівнів шуму, вібрації та напруженості електричних полів у суміжних приміщеннях. Рішення про розміщення ТП узгоджується з місцевим органом державного пожежного нагляду і санітарно-епідеміологічною службою. На рисунку 7.7 показана прибудована ТП багатоповерхової будівлі.



Рисунок 7.7 – Прибудована ТП

Для прийняття і розподілу електроенергії на розподільному пункті будинку (наприклад, на ТП) розміщують **головний розподільний щит (ГРЩ)**. До його складу зазвичай входять ввідна шафа, що підключається до трансформатора спеціальним кабелем, секційна шафа і лінійні шафи. Панель вводу (за необхідністю вводів може бути від одного до трьох) складається з ввідного вимикача, блока реле, що керує цим вимикачем, вимикачів відхідних ліній, комірки шинних з'єднань і кабельного каналу. У робочому корпусі також розміщені пристрої захисту від перевантажень і коротких замикань, прилади контролю силового навантаження на вводах і АВР.

7.2 Ввідно-розподільні шафи

Ввідно-розподільні шафи (ВРШ) або пристрої (ВРП) встановлюють у місцях введення зовнішніх живильних мереж як у багатоквартирних і індивідуальних будинках, так і в адміністративних будівлях. Вони призначені для приєднання до них внутрішніх електричних мереж будинків і розподілу електричної енергії. Схеми приєднання до зовнішніх мереж і розподілу електричної енергії в будинках різноманітні. Однак попри розмаїтість до їх складу входить порівняно обмежена кількість елементів, що відрізняються один від одного. У схемах ввідної частини це один або два рубильники або перемикача з запобіжниками, один або два автоматичних вимикачі, два автоматичних вимикачі або два контактори з апаратурою автоматичного включення резерву (АВР), а також усе перераховане вище разом з апаратурою виміру або обліку.

У великих будинках кількість ввідних комутаційних і захисних апаратів залежно від навантажень може бути три та більше. Для розподільних частин типові складання груп автоматичних вимикачів або запобіжників, складання з апаратурою обліку, загальною для всього складання, і з апаратурою обліку на окремих групах, а також з рубильниками або автоматичними вимикачами на входах складання. Усе перераховане в розподільній частині може сполучатися з

апаратурою автоматичного керування освітленням.

Номинальні струми апаратури ввідної частини зазвичай 50, 400, 630 А, а у великих будинках – 1 000 А і більше, розподільної частини – 16, 25, 40, 63, 100, 250 А, а в окремих випадках – 400 А.

До складу ВРП входять елементи ввідної й розподільної частин у різних сполученнях. Виконують ВРП у виді щитів однобічного або двостороннього обслуговування. Найпростіші ВРП виконують у виді одинарних панелей, шаф і шухляд.

Апарати типових елементів кріплять на металоконструкціях (рамах) і з'єднують відповідно до схеми певного елемента. Рами зі змонтованою апаратурою виконані як нормалізовані елементи ВРП що встановлюються на каркасах панелей або в шафах, з яких складають щити. При цьому дотримуються наступного. Раму з апаратурою обліку при установці в шафі розміщують в окремому відсіку, який має двері, що замикаються незалежно від інших дверей шафи. Перегородками розділяють апаратуру вводів (неавтоматичних і автоматичних) живильних ліній, що відходять від різних вводів, і апаратуру, встановлену в одній шафі (на одній панелі), яка приєднується до різних ліній, що відключається незалежно. Поділ перегородками потрібен для забезпечення безпеки при обслуговуванні. Рами з апаратурою, встановлені на панелях або в шафах, з'єднують одну з одною шинами (зокрема ізольованими) або проводами.

У ВРП, виконаних у виді щитів однобічного або двостороннього обслуговування, струмопровідні частини не захищені від дотику і потрапляння на них сторонніх предметів. Тому такі ВРП встановлюють у спеціальних приміщеннях – електрощитових. Крім того, установка в електрощитових викликана необхідністю обмеження доступу до ручок керування, які виведені на передні панелі щитів.

У щитах, розташованих у шафах, ручки керування встановлені за дверима. Їх замикають різними замками, а ключі передають відповідному персоналу. Крім того, у ВРП цього типу виключена можливість випадкового

дотику до струмопровідних частин і потрапляння на них сторонніх предметів. Отже, їх можна встановлювати в будь-яких приміщеннях з нормальним середовищем, де перед фасадом ВРП є прохід шириною не менше 1–1,2 м. При цьому прагнуть, щоб ВРП не встановлювався там, де часто проходять люди, що завжди викликає незручності при ремонтних й інших роботах.

Живильні кабельні лінії вводяться знизу. До входних затискачів кожного з перемикачів ввідної шафи можливе приєднання чотирьох кабелів перерізом до 150 мм². Вивід проводів або кабелів ліній, що відходять від розподільних шаф, виконують або нагору (через кришки шаф), або вниз. Усі провідники, що з'єднують апаратуру, встановлену в різних шафах, проходять у верхній частині цих шаф.

Ввідно-розподільний пристрій є комплектним електричним пристроєм заводського виготовлення і постачається окремими шафами або блоками з кількох шаф з усіма сполучними провідниками (шини або ізольовані проводи) між ними.

Зазначені конструкції ВРП встановлюють у стіни в електрощитових або інших приміщеннях. Для введення кабелів знизу у ввідні шафи та для виводу ліній униз з розподільних шаф у підлозі в місці установки ВРП повинні бути виконані приямки або відкритий канал. В обсяг робіт на місці монтажу входять: встановлення шаф над приямками або каналом; скріплення каркасів шаф одного з одним; кріплення шаф до основи (кожна шафа кріпиться чотирма болтами, дюбелями або штирями діаметром 12 мм); закриття відкритих бічних сторін крайніх шаф ВРП боковими панелями (якщо ці панелі не були встановлені на заводі); прокладка нульової шини (загальної для усього ВРП) у нижній частині шаф; прокладка і приєднання всіх провідників між шафами; виконання приєднання жил усіх ліній, що підходять і відходять, регулювання апаратури; установка патронів запобіжників (якщо вони не були встановлені на заводі).

Як приклад розглянемо особливості розподільних шаф низької напруги (РШНН), якими комплектують розподільні пристрої напруги 0,4 кВ змінного

струму з глухо заземленою нейтраллю. Ці шафи виконують функції прийняття і розподілу електричної енергії, захисту фідерних ліній від перевантажень і струмів короткого замикання.

Конструктивно (рис. 7.8, табл. 7.3) шафа становить каркас, зібраний з металевих вузлів за допомогою зварювання або профілів – за допомогою болтових з'єднань. Для забезпечення безпечної експлуатації ввідні та секційні апарати закриваються дверцятами, зверху шафи шинні виводи закриває захисний кожух. Блок-рубильники типу ARS (фідери) з вертикальним розташуванням фаз одного приєднання встановлюються на горизонтально розташовані збірні шини. Кожен блок-рубильник ARS виконує функції роз'єднувача та захисту від перевантажень і коротких замикань кабельної лінії, що підключається до нього. Захист реалізований на стандартних ножових запобіжниках серії NH європейського виробництва, «IEK» або серії ППН.



Рисунок 7.8 – Зовнішній вигляд РШНН

На вводі від силового трансформатора застосовуються апарати таких типів:

- автоматичний вимикач викатного виконання;
- стаціонарний автоматичний вимикач плюс вимикач навантаження з видимим розривом;
- вимикач навантаження з функцією захисту на запобіжниках до 1 250 А.

Для секціонування застосовують вимикач навантаження з видимим розривом або вимикач навантаження з функцією захисту на запобіжниках до 1 250 А. Ввідні й секційні апарати встановлюються у верхній частині панелі для економії місця. У верхній частині панелі розміщують: лічильник, АВР, контрольно-вимірювальні прилади, шафу власних потреб тощо.

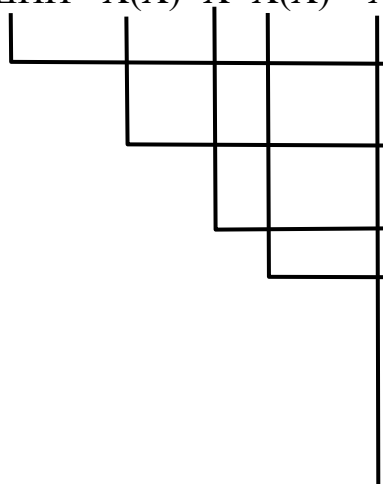
Для організації обліку електроенергії встановлюють трансформатори струму як на вводі, так і на фідерних лініях.

Таблиця 7.3 – Основні параметри РШНН

Найменування параметра	Значення параметра			
Номінальна робоча напруга, кВ	0,4			
Частота, Гц	50			
Номінальний струм збірних шин, А	630	800, 1 000	1 250, 1 600	2 000, 2 500
Допустимий тривалий струм, А	860	1 480	2 110	2 720
Номінальний ударний струм (струм електродинамічної стійкості збірних шин і відгалужень від них, амплітудне значення), кА	не менше 63			
Номінальний короткочасний струм (струм термічної стійкості, значення аперіодичної складової, що діє), за час 1 с, кА	не менше 40			
Номінальна напруга ізоляції, В	1 000			

Для розподільних шаф застосовують такі умовні позначення:

РШНН - X(X) -X -X(X) - X



Розподільна шафа низької напруги
одностороннього обслуговування

Номинальний струм збірних шин та ввідного апарату (та секційного апарату при наявності), А

Кількість фідерних ліній

Тип ввідного (секційного) апаратів

Ав – викатний автоматичний вимикач

Ас – стаціонарний автоматичний вимикач

Р – вимикач навантаження з видимим розривом

ARS – вимикач навантаження з функцією захисту

Виконання Л – ліве, П – праве

Приклад запису умовного позначення шафи з ввідними і секційними апаратами: розподільна шафа низької напруги на номінальний струм збірних шин 1 600 А, з ввідним викатним автоматичним вимикачем 1 600 А і секційним вимикачем навантаження з видимим розривом 1 250 А, дванадцятьма фідерними лініями, правого виконання: шафа РШНН-1 600(1 250)-12-Ав(Р)-П.

На рисунку 7.9 показані габаритні розміри шафи РШНН-630-ЛЯ8-Л.

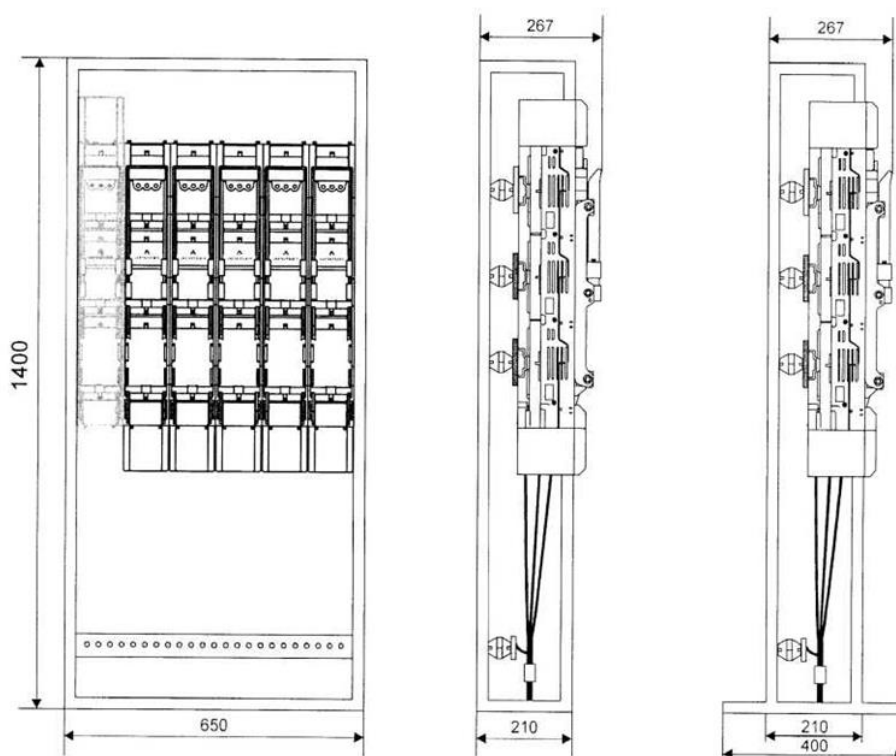


Рисунок 7.9 – Габаритні розміри шафи РШНН-630-ЛЯ8-Л

На рисунку 7.10 показана однолінійна схема шафи РШНН-630-ЛЯ8-Л. На схемі позначені:

Q1 – вимикач навантаження з функцією захисту типу ARS;

Q2 – Q6 – вимикач навантаження з функцією захисту типу ARS;

PE – заземлювальна шина;

N – нульова шина.

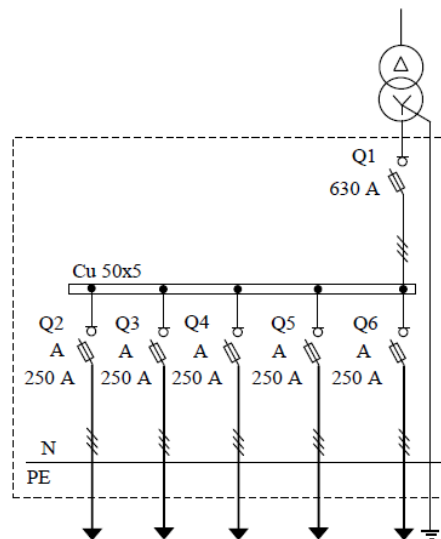


Рисунок 7.10 – Однолінійна схема шафи РШНН-630-ЛЯ8-Л

7.3 Розподільні пункти і щитки

Згідно з вимогами державних стандартів [6, 10] на вводах в будинки встановлюють один або декілька **ввідних пристроїв** (ВП) або **ввідно-розподільних пристроїв** (ВРП), а на поверхах будинку – розподільні пункти (РП) або розподільні щитки (РЩ).

Сучасний розподільний щиток (рис. 7.11) для житлового або робочого приміщення – це компактна і зручна панель, призначена для модульного монтажу на ній спеціальних приладів, що забезпечують прийняття електричного струму від зовнішньої, живильної мережі, та його розподіл мережею усередині будинку, дачі або квартири.

Щитки виготовляють із красивих і легких матеріалів і обладнують дверцятами, які можна замкнути на ключ, щоб знизити можливість випадкового

контакту з обладнанням, що знаходиться під струмом. Дверцята зовнішніх електричних шаф виконують так, що вони зачиняються герметично, завдяки чому виключається проникнення атмосферних опадів усередину чутливого до вологи обладнання.

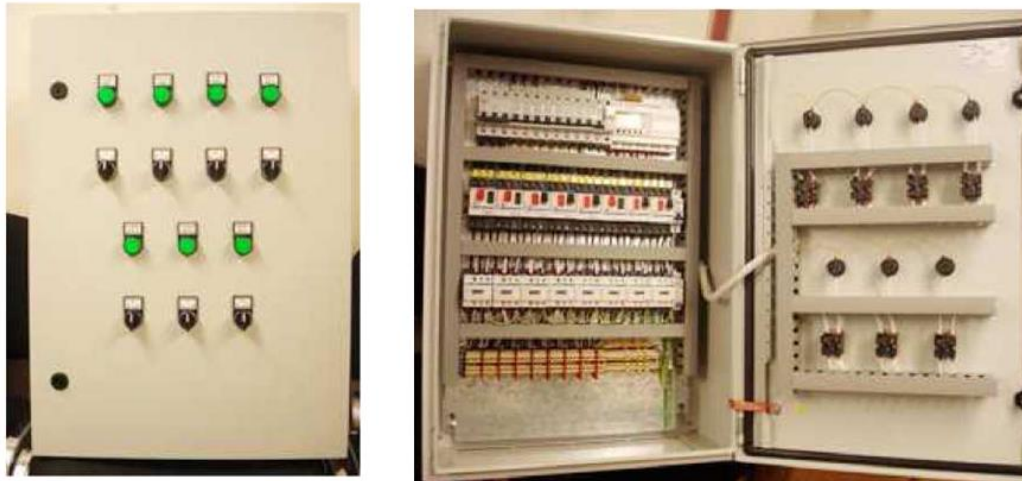


Рисунок 7.11 – Розподільний щиток

В цілому, розподільний щиток – це група з кількох порівняно невеликих за розмірами пристроїв, зібраних і встановлених поряд з метою максимальної легкості доступу до них у разі потреби. Потужність їх залежить від індивідуальних параметрів внутрішньобудинкової електромережі та передбачуваних навантажень. Як вітчизняні, так і закордонні виробники випускають безліч спеціальних приладів для централізованого розподілу струму і керування електричною мережею – клемних блоків, контакторів, провідних шин, трансформаторів, пакетних перемикачів, пристосувань для кріплення тощо.

Залежно від призначення РП і РЩ поділяють:

- за типами апаратів на лініях, що відходять – із запобіжниками, з автоматичними вимикачами;
- за схемами електричних з'єднань – для чотири-, три- і двопровідних ліній, що відходять, із ввідним або без ввідного апарата;
- за родом захисту від впливу навколишнього середовища;
- за способом встановлення – причіпні, підложні й утоплені;

– за наявністю апаратури для дистанційного керування освітленням.

Існують щитки, призначені спеціально для житлових будинків, і РЩ й РП, призначені для установки в різних громадських будинках.

У житлових будинках застосовуються РЩ таких видів:

– поверхові (сходові) захисні з апаратурою захисту введів у квартири;

– поверхові (сходові) облікові з апаратурою захисту групових ліній квартир, лічильниками й комутаційними апаратами, установлюваними перед лічильниками;

– поверхові (сходові), сполучені з лічильниками й апаратурою, такими ж, як у поверхових сходових облікових щитках, і, крім того, що мають додаткове відділення, у якому розміщаються пристрої телефонної, радіотрансляційної та телевізійної мереж;

– квартирні з апаратурою захисту групових ліній, лічильниками й комутаційними (що допускають комутацію під навантаженням) апаратами на вводах.

Для наведених типів щитів рекомендовано [9, 10] улаштовувати автоматичні вимикачі, але допускається також застосування запобіжників. Поверховий щиток для установки в ніші виконують у вигляді рами із шасі з дверима. На шасі рами на окремих підставках укріплені лічильники, захисні й комутаційні апарати та затискачі. У межах щитка виконані всі з'єднання. Поверхові щитки захисні містять тільки захисну апаратуру введів до квартир і застосовуються, коли лічильники й захисна апаратура групових ліній квартир установлені на квартирних щитках.

У громадських будинках застосовуються магістральні, групові щитки й РП для керування і захисту від КЗ і перевантажень групових освітлювальних і силових розподільних мереж.

Домові (квартирні) електрощитки (рис. 7.12) встановлюють в безпосередній близькості від входу і, наскільки це можливо, від електричного вводу в будинок у захищеному від сирості місці, на стіні або іншій жорсткій конструкції якомога далі від джерел тепла на висоті 1,4–1,7 м від підлоги. Як

можна бачити зі схеми, фазний і нульовий провід від домового вводу спочатку потрапляють на спільний вимикач (б), потім на електролічильник (а), а потім фазний провід подається на групу автоматичних вимикачів (в).

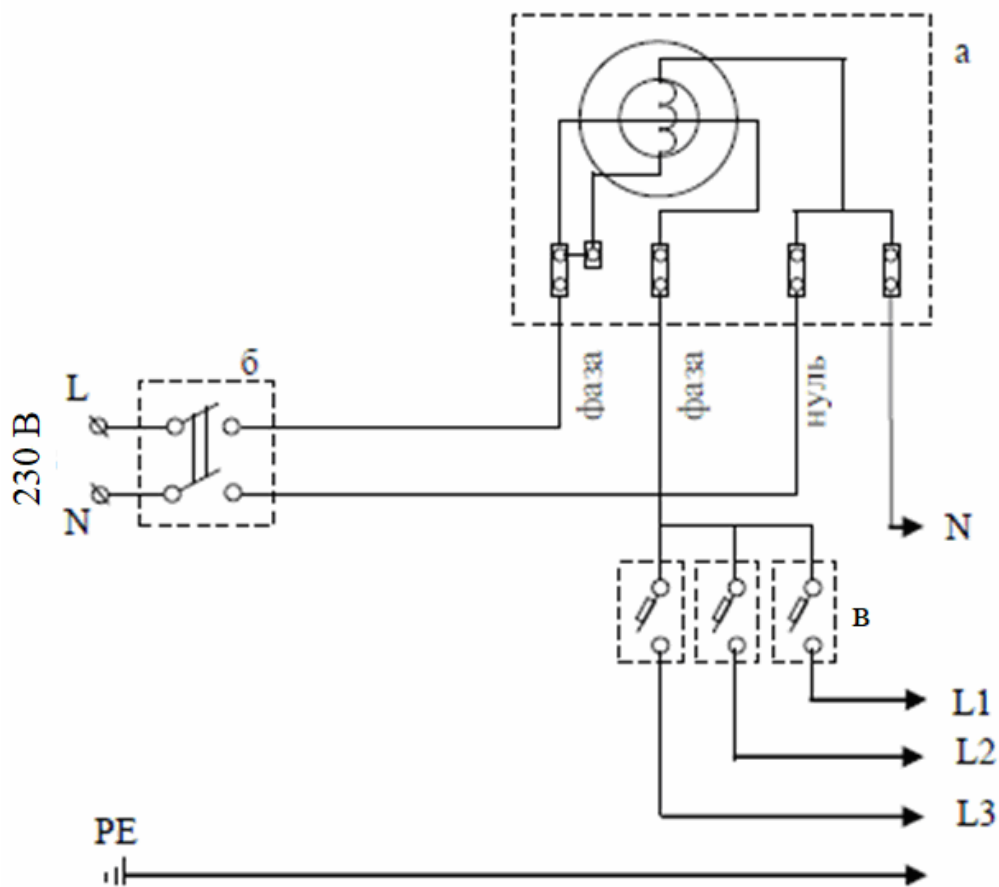


Рисунок 7.12 – Схема домового електрощитка

7.4 Улаштування внутрішніх електричних мереж

У житлових будинках найбільший обсяг електромонтажних робіт припадає на виконання групових електропроводок у квартирах, поверхових коридорах і на сходових клітках. Залежно від виду застосованих проводок обирають марки проводів, електровстановлювальні й електромонтажні вироби.

Прокладання живильних мереж від ВРП до квартир, для освітлення сходів до ліфтів і інших приймачів загальнобудинкового призначення здійснюють технічним підпіллям або підвалом відкрито у вінілплатових трубах, коробах і лотках.

Труби й лотки у підпіллях і підвалах залежно від конструкції будинку кріплять до стін на скобах або кронштейнах або підвішують по перекриттях. Відгалуження в трубних проводках виконують у металевих розподільних коробках. Труби з'єднують на муфтах або манжетах.

Для економії труб і зменшення кількості каналів у будівельних конструкціях дозволяється спільна прокладка в них проводів одного виду освітлення (робочого або евакуаційного) при числі проводів у трубі або каналі не більш дванадцяти. При цьому спільна прокладка взаємно резервованих кіл, а також кіл робочого й евакуаційного освітлення забороняється. Допускається сполучення нульових проводів живильних ліній квартир і групових ліній сходового освітлення.

При великому числі паралельно прокладених труб їх монтують блоками, виготовленими на заготівельних підприємствах монтажних організацій.

Підйом проводів ліній (стояків), що живлять квартири й освітлення сходів і поверхових коридорів, здійснюють приховано в каналах стін сходової клітки або поверхових коридорів. Не дозволяється спільне прокладання в загальному каналі мереж сильних і слабких струмів. У цих же стінах установлюють поверхові щитки й шафи для живлення квартир і розгалуження мереж слабких струмів. У цегляних будинках канали та ніші для встановлення щитків виконують в процесі будівництва будинку за допомогою інвентарних труб і шаблонів.

У великопанельних і великоблокових будинках канали для підйому електричних мереж і ніші для щитків виконують у спеціальних бетонних електроблоках [10] (рис. 7.13) або електропанелях.

Лінії, що живлять ліфти, прокладають в канали електропанелей або в шахтах ліфтів, а також у спеціальних блоках, призначених для прокладки інженерних комунікацій. В окремих каналах електропанелей прокладають мережі телебачення і радіотрансляції. Заборонено сполучати в одному каналі, трубі, коробі з іншими мережами лінії живлення і керування усіх видів протипожежних пристроїв. Їх проводять в окремих каналах коробах, трубах.

Варто зазначити, що у великопанельних безкаркасних будинках технічне підпілля або підвал перетинає велика кількість опорних залізобетонних стін, які утрудняють прокладку електричних мереж і ускладнюють монтаж електричного освітлення. У цих стінах передбачають прорізи для прокладання електричних, а також санітарно-технічних мереж. Для прокладання мереж живлення і загальнобудинкових групових мереж у трубах і каналах зазвичай застосовують провід марок АПВ, АПРН, рідше АПРТО, а в групових мережах освітлення також АППВ. Для освітлення технічних підпілля, підвалів і горищ застосовують світильники в захищеному виконанні з лампами розжарювання.

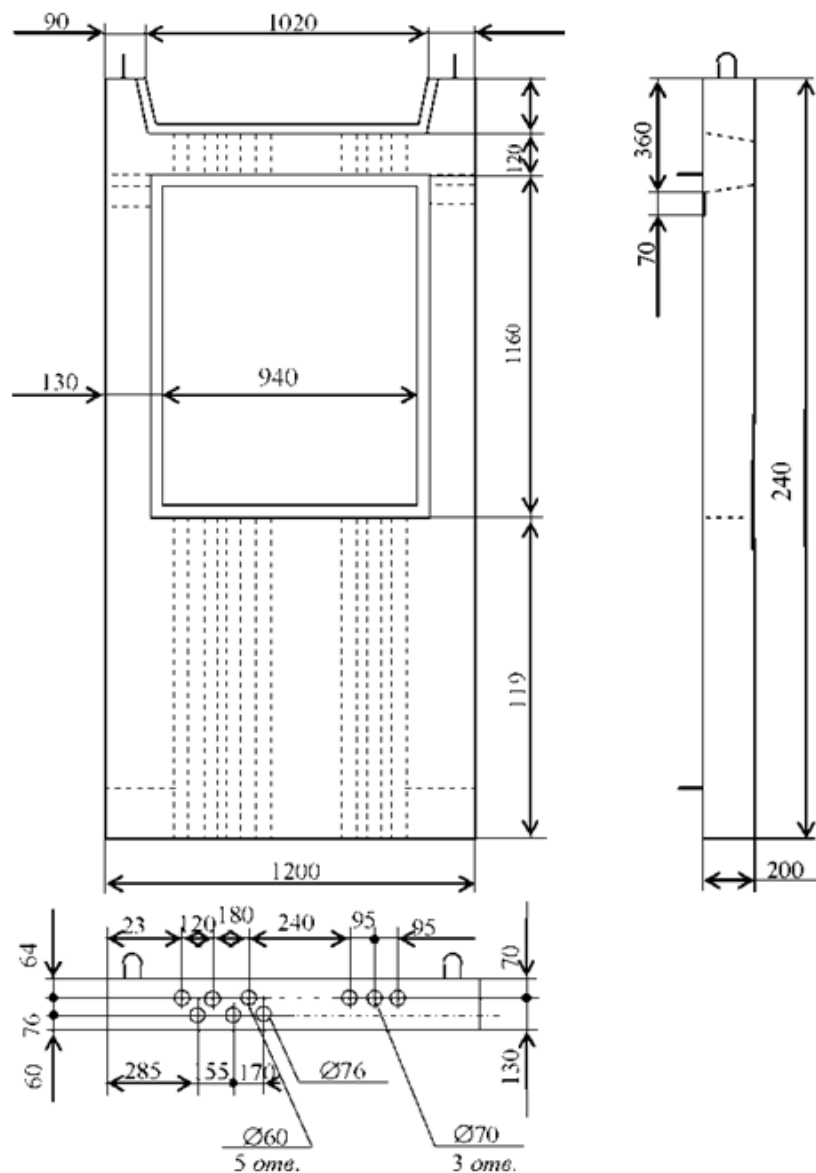


Рисунок 7.13 – Загальний вигляд залізобетонного блока

Групові електричні мережі квартир складаються з подачі живлення до світильників загального освітлення приміщень, до штепсельних розеток для приєднання світильників місцевого освітлення і побутових приладів, а в будинках з електроплитами – до електроплит.

У житлових кімнатах світильники (люстри) загального освітлення улаштовують зазвичай на стелі в центрі кімнати. У глибоких кімнатах світильник загального освітлення часто зміщують від центра. У житлових кімнатах площею 12 м² і більше передбачають можливість встановлення багатолампових світильників із включенням ламп двома групами, для чого до світильника прокладають три проводи і встановлюють здвоєний вимикач.

У кухнях малого розміру, передпокоях, ванних кімнатах і вбиральнях світильники дозволяється встановлювати на стелі або стіні. У кухнях передбачають розетки для підключення додаткового світильника над робочим столом господарки або вбудованого в кухонні меблі, а також підключення фільтра над плитою.

У ванних кімнатах застосовують освітлювальну арматуру з захисним склом і з заглибленим патроном або патроном з високим ізоляційним кільцем. При встановленні світильників з люмінесцентними лампами вони повинні мати спеціальну конструкцію патрона, що виключає дотик до струмопровідних частин.

Штепсельні розетки в приміщеннях встановлюють з урахуванням ймовірного розміщення меблів і найбільш зручних місць підключення електричних приладів. У загальній кімнаті встановлюють одну або дві здвоєні розетки для приєднання приладів без збільшення довжини мережі. Висота розміщення розеток не регламентується.

Вимикачі для світильників загального освітлення в житлових кімнатах улаштовують усередині біля входу в кімнату; для світильників у ванній кімнаті і вбиральні вимикачі розташовують зовні – у передпокої або коридорі. Настінні вимикачі розміщують на висоті 1,5 м.

Світильники в санвузлах розміщують так, щоб проводка в стінах цих приміщень була найменшої довжини і розташовувалася у віддаленні від труб водопроводу і каналізації.

Способи схованої прокладки групової мережі у квартирах, поверхових коридорах і інших сухих приміщеннях житлових будинків обирають залежно від конструкції стін, перегородок, перекриттів і підлог. У цегляних і шлакобетонних оштукатурених стінах проводку виконують спеціальними проводами безпосередньо під шаром штукатурки. У стінах із великих бетонних блоків проводку виконують у швах між блоками.

У гіпсобетонних збірних стінах і перегородках з окремих плит проводи прокладають у борознах, виконаних при виготовленні плит або на місці будівництва, із закладенням проводу штукатурним або гіпсовим розчином. У цегельних, шлакобетонних, бетонних стінах і гіпсобетонних збірних стінах і перегородках ніші для розміщення розподільних коробок і під вимикачі і штепсельні розетки виконують фрезеруванням спеціальною насадкою до електродриля. Борозни виконують також фрезеруванням за допомогою електродриля і спеціального пристосування або за допомогою пневматичного молотка.

Нормативні вимоги до улаштування внутрішніх електричних мереж об'єктів цивільного призначення наведені в [9, 10]. Розглянемо деякі з цих вимог.

На всіх об'єктах цивільного призначення необхідно застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами.

Мережі живлення і розподільні мережі, якщо їх розрахунковий переріз дорівнює 16 мм^2 і більше зазвичай виконуються кабелями і проводами з алюмінієвими жилами.

Живлення окремих електроприймачів, крім електроприймачів квартир, які відносять до інженерного обладнання (насоси, вентилятори, калорифери, кондиціонери тощо), може виконуватись кабелями або проводами з

алюмінієвими жилами перерізом не менше ніж 2,5 мм², за винятком тих, що встановлені на віброосновах.

Спосіб монтажу електропроводки залежно від типу кабелів і проводів вибирають відповідно до таблиці 7.4 за умови, що зовнішній вплив на кабелі і проводи відповідає вимогам чинних стандартів на ці кабелі і проводи.

Таблиця 7.4 – Способи монтажу залежно від типу кабелю

Проводи, кабелі		Спосіб монтажу							
		без кріплення	з безпосереднім кріпленням	у трубах	у коробах	у спеціальних коробах	на лотках і кронштейнах	на ізоляторах	на тросі, струні
Неізольовані проводи		-	-	-	-	-	-	+	-
Ізольовані проводи		-	-	+	+	+	-	+	-
Ізольовані проводи в захисній оболонці та кабелі (у т.ч. броньовані із мінеральною ізоляцією)	багато-жильні	+	+	+	+	+	+	0	+
	одно-жильні	0	+	+	+	+	+	0	+

Позначення:

« + » – дозволяється;

« - » – не дозволяється;

« 0 » – не застосовується або в звичайній практиці не використовується.

Примітка. Спеціальний короб – **це** короб прямокутного перерізу, призначений для прокладання кабелів і проводів, що не має змінних кришок або кришок, що відкриваються.

Кабельні введення в будинок виконують у трубах на глибині не менше ніж 0,5 м і не більше ніж 2 м від поверхні землі. При цьому в одну трубу затягують один силовий кабель.

Прокладання труб виконують з нахилом у бік вулиці. Труби для введів кабелів рекомендується закладати безпосередньо до приміщення, де розташовані ВП, ВРП, ГРЩ. Кінці труб, а також самі труби при прокладанні через стіну, ретельно ущільнюють для виключення можливості проникнення в приміщення вологи і газу.

Кабелі розміщують у доступних місцях відкрито на кабельних конструкціях, на стелях, у каналах будівельних конструкцій або в неметалевих трубах. У підвалах кабелі прокладають в коридорах, виділених для прокладання комунікацій.

Прокладання транзитних кабелів через підвали і технічні під підлогові простори будинків забороняється.

Вибір виду електропроводки і способів прокладання проводів і кабелів з урахуванням вимог електробезпеки, пожежної безпеки виконується згідно з главою 2.1 ПУЕ [7]. При цьому враховується таке:

- ізольовані проводи без захисної оболонки згідно з таблицею 7.4 варто прокладати тільки в трубах, коробах і на ізоляторах. Не допускається прокладати ізольовані проводи без захисної оболонки в порожнинах будівельних конструкцій, а також на поверхні стін, по стелі, на лотках, кронштейнах, на тросах (струнах). У цьому випадку необхідно застосовувати ізольовані проводи в захисній оболонці та кабелі;

- не допускається замонолічене прокладання кабелів і проводів без можливості їх заміни в панелях стін, перегородках та перекриттях під час виготовлення конструкцій на заводах будіндустрії або під час спорудження будівель. Не допускається також замонолічування проводів у монтажних стиках панелей;

- у будинках, конструкції яких виготовлені із негорючих будівельних матеріалів допускається прокладання групових мереж кабелем або ізольованими проводами в захисній оболонці в борознах стін, перегородок, перекриттів під штукатуркою, у шарі підлоги. Електропроводки під штукатуркою повинні розташовуватись горизонтально, вертикально або паралельно краю стін приміщення, тобто паралельно архітектурним лініям на відстані не більше ніж 150 мм від плит перекриття і не більше ніж 500 мм від підлоги.

У житлових будинках стояки ліній живлення квартир, групові лінії освітлення сходових клітин прокладають приховано в каналах будівельних

конструкцій (електроблоках). У цих же конструкціях рекомендується розміщувати суміщені поверхові електрошафи (щитки) і ящики для з'єднання і розгалуження провідників. Дозволяється для прокладання стояків застосовувати комплектні струмопроводи і труби.

Поверховий щиток встановлюють на відстані не більше ніж 3 м по довжині електропроводки від стояка живлення з урахуванням вимог гл. 3.1 ПУЕ [7].

Прокладання вертикальних ділянок розподільної мережі всередині квартир не допускається.

У технічних поверхах, підпідлогових просторах, неопалюваних підвалах, горищах, вентиляційних камерах, вологих та особливо вологих приміщеннях електропроводку рекомендується виконувати відкрито.

У сходових клітках дозволяється розміщувати тільки мережі освітлення цих кліток і коридорів.

У місцях проходу кабелів і проводів крізь стіни, перегородки, міжповерхові перекриття забезпечується можливість заміни проводки. Для цього прохід виконують у трубі чи коробі або в будівельних конструкціях передбачають отвори. Порожнини в місцях проходу, а також між кабелями, проводами і трубою або коробом закладають масою, що легко виймається і забезпечує ту ж вогнестійкість, що й елементи конструкції будівлі.

Монтаж електропроводки не повинен зменшувати експлуатаційні якості будівельних конструкцій і пожежну безпеку. Ніяка електропроводка не може проходити крізь опорні елементи конструкцій будівлі, якщо цілісність цих опорних елементів конструкції будівлі не може бути забезпечена після монтажу електропроводки.

Незахищені ізольовані проводи зовнішньої електропроводки розміщають і відгороджують так, щоб вони були недоступні з місць, де можливе часте перебування людей, наприклад з балконів.

Відкрите прокладання незахищених ізольованих проводів на роliках і ізоляторах виконують на висоті не менше ніж 2 м.

Висота відкритого прокладання захищених ізолюваних проводів і кабелів, які прокладаються в трубах і коробах, плінтусах з каналами для електропроводок, а також спусків до вимикачів, розеток, пускової апаратури, щитків і світильників, які встановлюються на стінах, не нормується.

Виводи електропроводки із підготовки підлоги до технологічного обладнання, яке встановлено на відстані від стіни приміщення, виконують у металевих тонкостінних трубах.

Контрольні запитання до теми 7

1. На які групи поділяють електрообладнання живильних і розподільних мереж?
2. Які типи трансформаторних підстанцій застосовуються в міських електричних мережах?
3. Дайте характеристику блочно-модульній КТП.
4. Дайте характеристику КТП кіоскового типу.
5. Поясніть на плані розміщення трикамерної закритої підстанції.
6. Поясніть на плані розміщення чотирикамерної закритої підстанції.
7. У яких випадках застосовуються вбудовані (прибудовані) ТП?
8. Поясніть призначення і комплектність ввідно-розподільних пристроїв.
9. Які конструктивні особливості розподільних шаф?
10. Поясніть умовні позначення у маркуванні розподільних шаф.
11. Поясніть особливості улаштування внутрішніх електричних мереж у будинках.
12. Поясніть особливості групових електричних мереж.

ТЕМА 8

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

8.1 Небезпека ураження людини електричним струмом

Експлуатація усіх видів електроустановок становить певну небезпеку для людей. Це викликає необхідність суворого дотримання вимог правил техніки безпеки й відповідної кваліфікації персоналу, який обслуговує ці пристрої.

Ураження електричним струмом можливо у випадку дотику до струмопровідних частин електроустаткування або до металевих струмопровідних частин електроустаткування, що опинились під напругою при порушенні ізоляції.

Електричні установки можуть бути причиною пожежної небезпеки при КЗ, перевантаженні проводів, кабелів і електроприймачів, іскрінні та підвищеному нагріванні контактних з'єднань.

Електричний опір людини змінюється в широких межах (від 500 Ом до 100 000 Ом) і залежить від багатьох причин: загального стану здоров'я, товщини та стану шкірного покриття і його вологості, умов навколишнього середовища, тривалості проходження струму і деяких інших факторів. У розрахунках з техніки безпеки опір людського тіла зазвичай приймається рівним 1 000 Ом.

Проходячи через організм людини електричний струм спричиняє термічний, електролітичний, механічний та біологічний вплив.

Термічний вплив струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів.

Електролітичний вплив струму характеризується розкладанням крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізико-хімічного складу.

Механічний вплив струму проявляється ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту.

Біологічний вплив струму на живу тканину проявляється небезпечним збудженням клітин та тканин організму, що супроводжується довільним судинним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу.

Подразнення тканин організму внаслідок впливу електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, та рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не знаходяться на шляху проходження струму.

Наслідки електротравми залежать від значення струму і тривалості його проходження. Вважається, що в більшості випадків струм 0,1 А становить смертельну небезпеку для людини. При цьому струмі, що проходить від руки до руки або від руки до ніг протягом 3 с, може наступити параліч серця.

Для людини небезпечний як змінний, так і постійний струм, однак найбільшу небезпеку становить змінний струм промислової частоти (50 Гц). З підвищенням частоти змінного струму небезпека ураження зменшується.

Залежно від небезпеки ураження людини електричним струмом у чинній редакції ПУЕ [7] прийнята така класифікація приміщень, у яких розміщують електроустаткування.

1. Приміщення без підвищеної небезпеки сухі нежаркі з підлогами, що не проводять струм, без металоконструкцій, струмопровідного пилу, наприклад житлові, адміністративні й інші громадські будинки з дерев'яними, лінолеумовими та подібними підлогами.

2. Приміщення з підвищеною небезпекою – вологі (при відносній вологості вище 75 %), жаркі (при температурі понад 30 °С), зі струмопровідними підлогами (залізобетонними, металевими, земляними), приміщення, у яких існує небезпека одночасного дотику до металевих конструкцій будинків, трубопроводів, верстатів і металевих корпусів електроустаткування.

3. Особливо небезпечні приміщення – надзвичайно сирі приміщення, у яких підлога, стіни й стеля покриті вологою (лазні, пральні тощо), у яких відносна вологість повітря близька до 100 %, приміщення з хімічно активним середовищем, що впливає на ізоляцію. До особливо небезпечних відносяться і такі приміщення, в яких одночасно існують дві або більше ознак підвищеної небезпеки. Стосовно до наведеної вище класифікації нормами й правилами встановлені належні вимоги, яким повинно відповідати електроустаткування, проводки та всі інші елементи електрообладнання.

Можливі два випадки дотику людини до струмопровідних частин: двополюсне, коли людина доторкнулася до двох неізольованих проводів електричної мережі, і однополюсне, коли людина торкається одного з проводів.

Більш небезпечний двополюсний дотик, особливо якщо до різних провідників людина доторкнулася двома руками (рис. 8.1). У цьому випадку струм проходячи через тіло людини у трифазній чотирипровідній мережі може прийняти таке значення:

– при дотику до двох фаз (рис. 8.1, випадок 1):

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{люд}}} ; \quad (8.1)$$

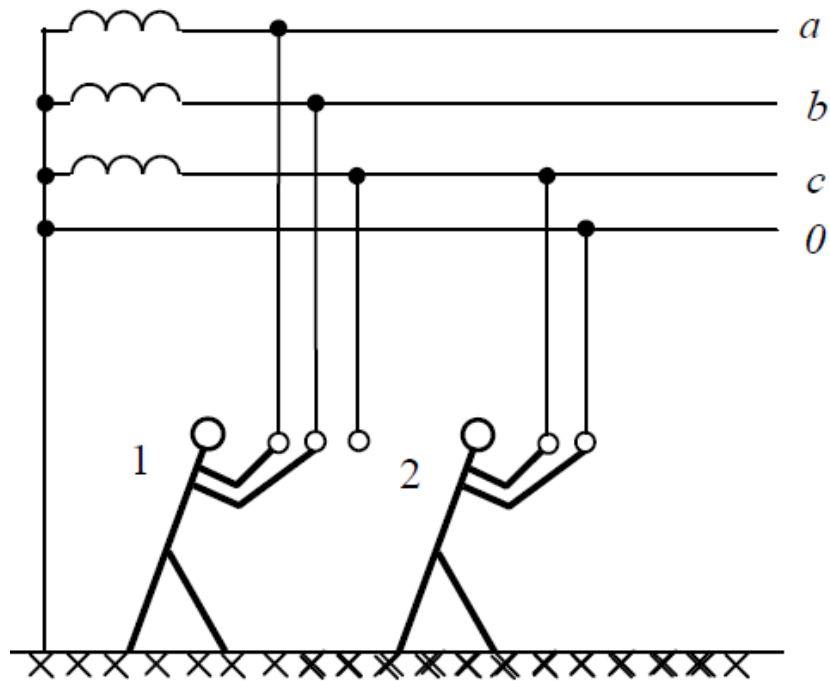


Рисунок 8.1 – Дотик людини до проводів трифазної чотирипровідної мережі

– при дотику до фазного та нульового проводів (рис. 8.1, випадок 2):

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{люд}}}, \quad (8.2)$$

де $U_{\text{л}}$ і U_{ϕ} – відповідно лінійна і фазна напруга мережі, В;

$R_{\text{люд}}$ – опір людського тіла, Ом.

При однополюсному дотику людина торкається або одного з неізованих провідників електричного кола, або неструмопровідної металевої частини електроустаткування, яка опинилась під напругою в результаті ушкодження ізоляції. У цьому випадку значення струму, що проходить через людину, залежить не тільки від прикладеної напруги, але і від режиму нейтралі джерела живлення, активного опору ізоляції і ємності проводів стосовно землі.

8.2 Системи захисного заземлення

Для захисту людей від ураження електричним струмом застосовують **захисне заземлення** – електричне з'єднання з землею або її еквівалентом

металевих неструмопровідних частин, що можуть виявитися під напругою. Відповідно, при пробії ізоляції струмопровідного проводу на корпус заземленого електроприладу струм буде проходити заземлювальним провідником, що виключить ураження електричним струмом людини.

Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) рекомендована класифікація мереж низької напруги залежно від місця заземлення нейтралі джерела живлення (вторинної обмотки силового трансформатора), способу заземлення корпусів обладнання та способу використання нейтрального проводу. Для позначення різних систем використовують літери латинського алфавіту.

Першою літерою позначають стан нейтралі обмотки трансформатора. Літерою **I** (від французького «Isolé» – ізольований) позначають систему з ізольованою нейтраллю чи з нейтраллю, приєднаною до пристрою заземлення через великий опір. У цій системі між нейтраллю (або однією з фаз при її відсутності) та пристроєм заземлення встановлюють апарат для захисту від переходу вищої напруги на обмотку нижчої напруги у випадку пошкодження ізоляції між ними. Літерою **T** (від франц. «Terre» – земля) позначають систему з глухим (безпосереднім) приєднанням нейтралі обмотки трансформатора до пристрою заземлення підстанції.

Другою літерою позначають спосіб приєднання корпусів обладнання до пристроїв заземлення. Літерою **T** (від французького «Terre» – земля) позначають систему з приєднанням корпусів обладнання до пристроїв місцевого заземлення, а літерою **N** (від французького «Neutre» – нейтральний) – систему з нейтральним проводом, який може використовуватися окремо як робочий **N** і як захисний **PE** (від англійського Protection Earth), або як суміщений робочий та захисний **PEN**.

Третьою літерою позначають: літерою **C** (від французького «Coïncidé» – змішаний, суміщений) – систему з суміщеним нейтральним проводом, тобто **TN-C**; літерою **S** (від французького «Séparé» – відділений) – систему з окремими робочим і захисним провідниками, тобто **TN-S**.

Відповідно до цієї класифікації **розрізняють такі системи захисного заземлення: IT, TT, TN, TN-C, TN-S та похідну від двох останніх TN-C-S.**

Система **IT** – система, в якій нейтраль джерела живлення ізольована від землі або заземлена через прилади або пристрої, що мають великий опір, а відкриті струмопровідні частини заземлені.

Варіанти схем мереж побудованих за системою **IT** показані на рисунку 8.2. Система **IT** характеризується невеликим струмом першого замикання однієї з фаз на землю, величина якого дорівнює потрібному значенню струму витоку фази нормального режиму і визначається поперечними параметрами мережі.

Такий режим не є аварійним і споживачі не відчують змін. Однак, якщо в схемі (рис. 8.2, а) в нормальному режимі напруга фаз відносно землі становить 230 В, то в режимі замикання однієї з фаз на землю напруга двох нешкоджених фаз підвищується в $\sqrt{3}$ раз і дорівнює 400 В. Умови безпеки внаслідок цього в схемі значно погіршуються. У випадку живлення мережі від обмоток трансформатора, з'єднаних у трикутник, напруга між фазами дорівнює 230 В. Отже, в умовах замикання однієї з фаз на землю, напруга двох інших фаз відносно землі не буде перевищувати 230 В і умови безпеки не погіршуються.

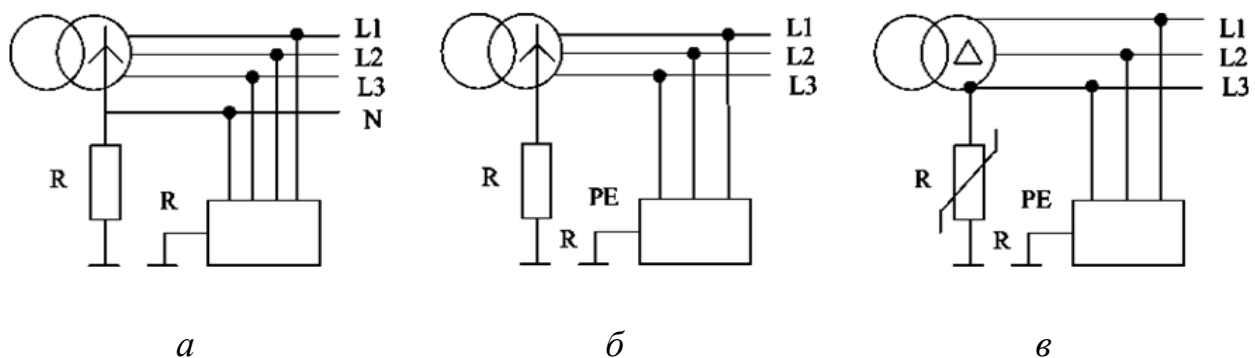


Рисунок 8.2 – Система заземлення **IT**:

- а – чотирипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у «зірку»;
- б – трипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у «зірку»;
- в – трипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у «трикутник».

Перше пошкодження в мережах системи ІТ не відчувається струмовими захистами. За умовами експлуатації такі пошкодження повинні бути усунені в короткий час, оскільки поява другого пошкодження в іншій фазі буде причиною аварійного режиму, який викликає спрацювання максимального струмового захисту і вимкнення ділянки мережі. Основною проблемою в мережах за системою ІТ є підтримання їх у первісному стані, тобто ізольованими від землі, швидке виявлення та усунення однофазних пошкоджень.

Система ТТ (рис. 8.3) – система, в якій нейтраль джерела живлення глухо заземлена, а відкриті струмопровідні частини електроустановки заземлені за допомогою заземлювального пристрою, електрично незалежного від глухо заземленої нейтралі джерела. Струми однофазного пошкодження значно більші, ніж у системі ІТ, однак вони суттєво обмежені, і звичайні струмові захисти (запобіжники, автоматичні вимикачі з тепловими та електромагнітними розчеплювачами) можуть виявитися недостатньо чутливими для їх надійного вимкнення. Таким чином, перевага з обмеження струму однофазного КЗ перетворюється на недолік через неможливість їхнього швидкого вимкнення.

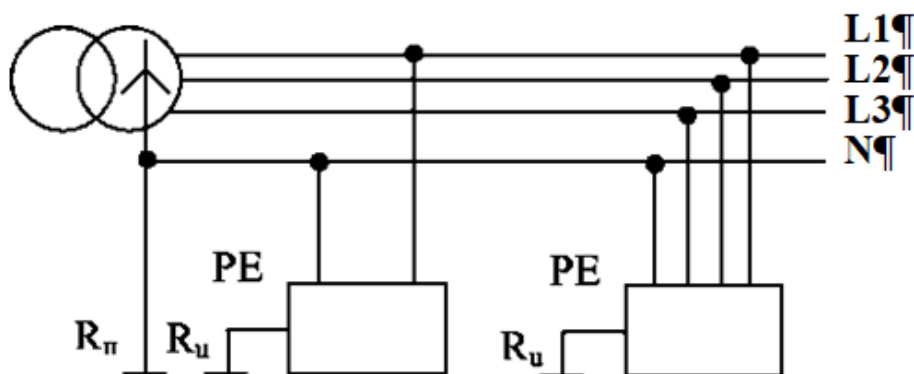


Рисунок 8.3 – Система заземлення ТТ

Система TN – система, в якій нейтраль джерела живлення глухо заземлена, а відкриті струмопровідні частини електроустановки приєднані до глухозаземленої нейтралі за допомогою нульових захисних провідників.

Система **TN** реалізується у вигляді одного з її різновидів: **TN-C**, **TN-S**, **TN-C-S**.

Система **TN-C** відповідає такій схемі, в якій нейтраль джерела приєднана до «землі» (контуру заземлення підстанції), нейтральний провід приєднують до нейтралі джерела, а корпуси електрообладнання приєднують до нейтрального провідника – виконують захисний захід «занулення» (рис. 8.4). Цей провідник одночасно використовують як робочий для приєднання, наприклад, однофазних електроприймачів. Для підвищення рівня безпеки виконують повторні заземлення нульового провідника, що зменшує опір заземлення.

Таким чином, нейтральний провідник **PEN** використовується як робочий – **N** і захисний – **PE**, що відображено літерою **C** в позначенні типу системи.

Значна частина мереж у системі **TN-C** працює від обмоток трансформаторів зі з'єднанням обмоток «зірка-зірка-нуль». Струми однофазного замикання у цій системі, додатково обмеженні перехідним опором в точці КЗ, можуть досягати величин до яких струмовий захист (запобіжниками, автоматами) виявляється нечутливий. Існування таких режимів може спричинити появу на корпусах обладнання відносно високих потенціалів і певної небезпеки для персоналу. В таких умовах, внаслідок перегріву спричиненого роботою на двох фазах або значного зниження напруги однієї з фаз, можливий вихід з ладу силових трансформаторів та трифазних двигунів. Крім того, можлива поява різниці потенціалів між корпусами обладнання в умовах протікання значного струму через нульовий провідник **PEN**.

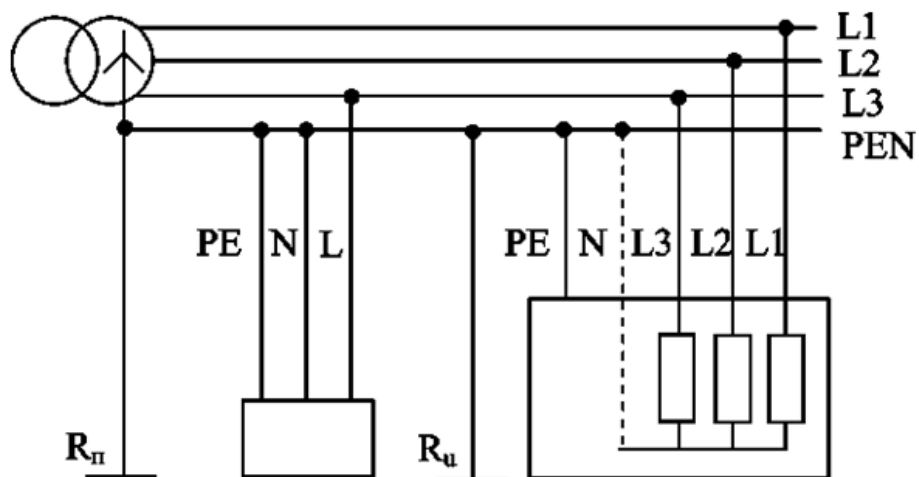


Рисунок 8.4 – Система заземлення **TN-C**

У системі **TN-C** у випадках обриву нульового проводу **N** виникають особливо небезпечні умови. На однофазних електроприймачах, приєднаних на фазну напругу, з одного боку може з'явитися напруга більша від робочої 230 В, а з другого – значно менша. Такий режим небезпечний як для обладнання, так і для людей, оскільки на занулених корпусах може з'явитися небезпечна напруга.

Використання пристроїв захисного вимкнення безпосередньо в мережах за системою **TN-C** є неможливим. У випадках коли в цьому є необхідність, необхідно перейти до системи **TN-S** або **TT**.

Система **TN-S** відрізняється від попередньої (**TN-C**) тим, що до заземленої нейтралі джерела живлення приєднані не один, а два нейтральних провідники: один – робочий, позначений літерою **N**, а другий – захисний, позначений **PE**. Загальна кількість провідників у цій системі становить 5: три фазних, і два нейтральних (рис. 8.5).

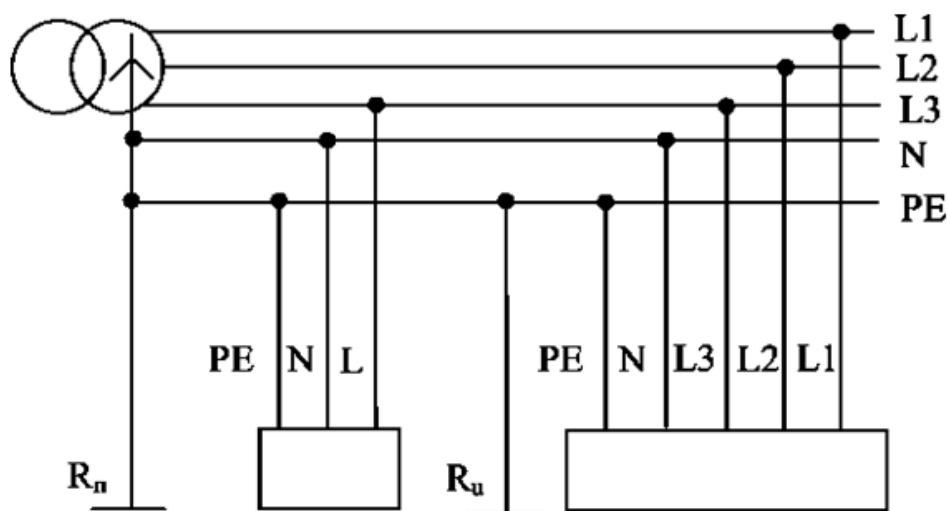


Рисунок 8.5 – Система заземлення **TN-S**

Наявність двох провідників – нульового робочого **N**, у якому протікають робочі струми, і захисного **PE** з повторними заземленнями, до якого приєднані корпуси обладнання, дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки порівняно з системою **TN-C**.

До недоліків системи **TN-S** можна віднести збільшення витрат на мережу (необхідно прокладати додатковий провідник), а також на комутаційні апарати, в яких рекомендується застосовувати додатковий полюс для нульового робочого проводу. Цей захід дозволяє запобігти можливості появи напруги зміщення нейтралі (незалежно від причини) на вимкненому обладнанні, що важливо для безпечного виконання на ньому налагоджувальних, ремонтних чи інших робіт.

За необхідності можна перейти від системи **TN-C** до системи **TN-S**. Мережа з переходом від системи **TN-C** до системи **TN-S** належить до системи **TN-C-S**. Для здійснення такого переходу у відповідній точці мережі за системою **TN-C** (зазвичай в розподільному щитку) необхідно зробити повторне заземлення проводу **PEN** і після цього вивести окремо робочий **N** та захисний **PE** провідники (рис. 8.6). Отже, система **TN-C-S** – це система **TN**, в якій функції нульового захисного і нульового робочого провідників суміщені у деякій її частині, починаючи від джерела живлення.

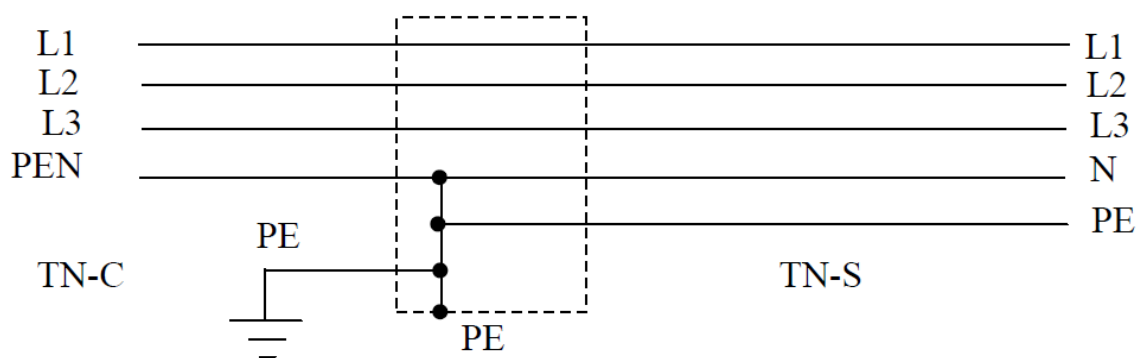


Рисунок 8.6 – Схема системи заземлення **TN-C-S** з переходом від системи **TN-C** до системи **TN-S**

У системі **TN-C-S** можна поєднати переваги складових систем: у головній її частині від підстанції до ввідних пристроїв для живлення пунктів розподілу використовують систему **TN-C**, для створення якої необхідні менші капіталовкладення, а на рівні розподільних шаф та щитків від розподільних пристроїв до приймачів використовують систему **TN-S**, яка дає можливість застосовувати пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) для електроприймачів та споживачів, які того потребують.

8.3 Загальні заходи безпеки

Для запобігання ураження електричним струмом насамперед виключають можливість випадкового дотику до струмопровідних частин. Для цього встановлюють відповідні огороження або струмопровідні частини розташовують на висоті, що недосяжна без спеціальних пристосувань.

РЩ і РП розміщують у спеціальних приміщеннях або шафах, що замикаються. Ці шафи не мають струмопровідних частин на лицьовій стороні. Затискачі електродвигунів і інших електроприймачів, а також пускових апаратів закривають кожухом для виключення відкритого доступу до них.

Забороняється проведення ремонтних робіт на електродвигунах і пускових апаратах під час їхньої роботи. При цьому обов'язкове їх повне відключення вимикачем на груповому щитку.

Для зовнішніх установок і повітряних електричних мереж установлені необхідні висоти й габарити наближення до різних будинків і споруд, що забезпечують неможливість дотику до проводів. Ці заходи залежать від напруги мережі й зазначені в ПУЕ й ДБН.

Правилами техніки безпеки також установлені вимоги безпеки, яких повинен дотримуватися обслуговувальний електротехнічний персонал у процесі експлуатації електроустановок. Для захисту обслуговувального персоналу від ураження струмом і дії електричної дуги застосовують різноманітні захисні засоби та пристосування. До них відносять інструменти з ізоляційними ручками, діелектричні рукавички, калоші та боти, гумові килимки, захисні окуляри, спеціальні сходинки й драбини, переносні заземлення й огороження, а також сигнальні переносні покажчики напруги та струму.

При проведенні робіт в установках до 1 кВ при повному знятті напруги необхідно, щоб усі не підімкнені струмопровідні частини іншого сусіднього устаткування мали наглухо закриті огороження чи знаходилися на відстані або на висоті, при яких випадковий дотик до них буде неможливим. Правила дозволяють у визначених умовах роботу без зняття напруги, для чого застосовують захисні засоби й спеціальні пристосування. У цьому випадку можуть працювати два електромонтери, старший з яких повинний мати кваліфікацію по техніці безпеки не нижче IV групи, молодший – не нижче III групи.

Надзвичайно важливе значення має рівень ізоляції. Необхідно забезпечувати неухильне виконання вимог ПУЕ до улаштування електроустановок залежно від категорії приміщень. При дистанційному керуванні в електроустановках застосовують світлову або звукову сигналізацію, яка попереджає працівників про пуск механізмів, а в деяких випадках (на ТП, РП тощо) – блокувальні пристрої, які виключають можливість дотику до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. У терміни, регламентовані правилами технічної експлуатації, проводять профілактичні

огляди та виміри, що характеризують стан електроустаткування.

Для попередження населення про небезпеку, яку становлять усі види електроустаткування, широко застосовуються різні форми доведення інформації, зокрема популярні брошури, плакати, лекції, бесіди, що практикуються енергопостачальними організаціями.

Поряд із загальними заходами безпеки для захисту людей від ураження струмом у мережах і електроустановках також широко застосовують наступні заходи: захисне заземлення (занулення), захисне відключення, малі напруги (до 42 В), розділювальні трансформатори, ізолювальні площини, вирівнювання потенціалів у межах установки або її частин.

8.4 Заземлення

Під заземленням будь-якої частини електроустановки, як було зазначено у п. 8.2, розуміється навмисне з'єднання її з заземлювальним пристроєм. Заземлювальний пристрій складається із заземлювачів і заземлювальних провідників. **Заземлювач** являє собою один або декілька з'єднаних між собою металевих провідників (електродів), що знаходяться в безпосередньому контакті з землею. **Заземлювальні провідники** – металеві провідники, що з'єднують заземлювач із заземленими частинами електроустановки.

Главою 1.7 ПУЕ [7] встановлено, що в приміщеннях з підвищеною загрозою, особливо небезпечних і в зовнішніх електроустановках захисне заземлення або занулення обов'язково у всіх випадках при напрузі змінного струму вище 42 В і постійного струму вище 110 В. У приміщеннях без підвищеної небезпеки заземлення потрібно при напрузі 380 В й вище змінного струму і 440 В і вище постійного струму.

Заземленню (зануленню) підлягають усі металеві корпуси електродвигунів, пускової апаратури, електроінструменти, металеві труби електропроводок, коробка, лотки, металеві оболонки, броня і муфти кабелів, кабельні конструкції, кронштейни й інші металеві елементи кріплення

електропроводок тощо. Попри те що житлові будинки відносять до приміщень без підвищеної небезпеки, заземленню (зануленню) підлягають корпуси кухонних стаціонарних електроприладів потужністю 1,3 кВт і вище, таких, як посудомийні, автоматичні пральні машини, а також корпуси щитів, щитків, світильників і сталеві труби, короби, лотки електропроводок на сходових клітках, у технічних підпіллях і на горищах. Металеві оболонки й броня кабелів зазвичай повинні бути заземлені на початку і на кінці траси.

Не підлягають заземленню арматура ізоляторів, кронштейни й освітлювальна арматура при її встановленні на дерев'яних опорах, корпуси електроприймачів з подвійною ізоляцією, двері, що відкриваються, на металевих заземлених шафах. У житлових кімнатах, а також у кухнях і вбиральнях квартир металеві корпуси стаціонарно встановленого освітлювального електроустаткування і переносних побутових електроприладів і машин потужністю до 1,3 кВт (праски, чайники, холодильники, швейні машини тощо) заземлювати (зануляти) не потрібно. У ванних кімнатах можуть застосовуватися прилади й машини, що мають подвійну ізоляцію, які не потрібно заземлювати (зануляти). При використанні у ванних кімнатах машин і приладів з одинарною ізоляцією їхні металеві корпуси необхідно заземлювати (зануляти).

Корпуси сталевих або чавунних ванн з'єднуються за допомогою сталевий смуги з трубами водопроводу для вирівнювання потенціалів, що можуть з'явитися на корпусі ванни при ушкодженні схованих електропроводок, які знаходяться в конструкціях будинків.

У чотирипровідних мережах змінного струму з глухозаземленою нейтраллю приєднання корпуси електроприймачів і інших частин електроустановок, що мають бути заземлені, до заземлювача без підключення до нульового захисного проводу не дозволяється, тому що при цьому не гарантується безпека людей, оскільки при замиканні на корпус через два послідовні заземлювачі струму однофазного КЗ може виявитися недостатнім для спрацювання захисту.

Необхідно відзначити, що заземлення в будинках і спорудах є загальним як для всіх електротехнічних установок, так і для пристроїв автоматики. Як заземлювачі насамперед використовують так звані природні заземлювачі. До них відносять водопровідні й інші металеві трубопроводи без антикорозійного покриття, за винятком трубопроводів з горючими рідинами або горючими й вибуховими газами, свинцеві оболонки кабелів, металеві конструкції й арматура залізобетонних будинків і споруд, що мають з'єднання з землею, фундаменти, обсадні труби тощо. Алюмінієві оболонки кабелів і неізолювані алюмінієві провідники використовувати як заземлювачі не дозволяється.

У тих випадках, коли природні заземлювачі відсутні або їхній опір перевищує необхідне значення, улаштовуються штучні заземлювачі, що складаються з відрізків кутової сталі (розмірами 50 мм × 50 мм × 4 мм) довжиною 2,5–3 м, некондиційних сталевих труб діаметром 50 мм тієї ж довжини з товщиною стінки не менше 3,5 мм, відрізків круглої сталі діаметром 12–14 мм, довжиною до 5 м і більше.

Зазначені відрізки (електроди) занурюють в ґрунт на відстані один від одного приблизно 3 м і з'єднують між собою сталевую смугою розміром 40 мм × 4 мм. Верхні кінці електродів повинні бути на глибині 0,6–0,7 м від поверхні. Сполучну смугу прокладають в траншеї глибиною 0,6–0,7 м. Усі з'єднання здійснюють зварюванням. Кількість електродів залежить від розмірів, питомого опору ґрунту, глибини промерзання і деяких інших факторів і визначається на підставі спеціального розрахунку.

В електроустановках до 1 кВ із глухим заземленням нейтралі нульові захисні провідники повинні бути вибрані таким чином, щоб при однофазному замиканні на корпус або на нульовий провідник відбувалося швидке відключення захистом дефектної ділянки. ПУЕ вимагають, щоб при цьому струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці кола перевищував не менш ніж у 3 рази номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм комбінованого або теплового розчеплювача автоматичного вимикача.

У повітряних мережах змінного струму занулення здійснюється за допомогою нульового проводу, прокладеного на тих же опорах лінії, що і фазні проводи. На кінцях повітряних ліній (або відгалужень) довжиною понад 200 м, а також на вводах у будинки, електроустановки яких підлягають зануленню, виконують повторне заземлення нульового проводу загальним опором у мережах 380/220 В не більше 10 Ом, при цьому опір кожного з повторних заземлень має бути не більше 30 Ом.

Для повторного заземлення насамперед використовують природні заземлювачі. Повторні заземлювачі підвищують умови безпеки, особливо при обривах нульового проводу. У повітряних лініях довжиною до 200 м і кабельних мережах будь-якої довжини повторні заземлення не потрібні, тому що в них обрив нульової жили малоймовірний. У житлових будинках з електроплитами у квартирах повторні заземлення виконуються і при кабельних вводах.

Детальніше з захисними заходами електробезпеки можна ознайомитися у главі 1.7 ПУЕ [7], розділі 8 ДБН В.2.5.-23:2025 [10] та у ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [6].

8.5 Захисне відключення і розділові трансформатори

Захисне заземлення (занулення) не завжди забезпечує необхідні умови безпеки людей, що стикаються з електроустановками, тому що навіть при струмі однофазного КЗ, що перевищує в 3 рази номінальний струм плавкої вставки запобіжника або розчеплювача автоматичного вимикача, спрацювання захисту відбувається з деякою затримкою часу (іноді в кілька хвилин). У цих випадках доцільно, особливо в приміщеннях з підвищеною небезпекою, додатково до заземлення застосовувати захисне відключення.

8.5.1 Апарати захисного відключення

Апарати захисного відключення становлять автоматичні вимикачі, упорядковані пристроями, що реагують на струм витоку. Основною частиною

пристрою захисного відключення є диференціальний трансформатор струму, первинною обмоткою якого служать проводи мережі, що підлягає захисту. До вторинної обмотки приєднується схема, яка безпосередньо діє на механізм відключення вимикача.

Існує велика різноманітність видів пристроїв захисного відключення. Найбільш дієвими є пристрої високої чутливості, що реагують не тільки на глухе, але і на неповне замикання на землю. Такі пристрої при правильно обраних уставках струмів витоку (близько 30 мА) мають велику швидкодію і захищають людину навіть при однополюсному дотику до струмопровідних частин.

Пристрої захисного відключення виконують такі функції:

- захист від глухого замикання на землю;
- захист від неповного замикання на землю;
- автоматичний постійний контроль стану ізоляції мережі й кіл заземлення (занулення);
- самоконтроль.

Прості апарати захисного відключення спрацьовують при замиканні на землю з часом відключення 0,1–0,2 с і забезпечують безпеку тільки при дотику до заземлених неструмопровідних частин, які опинились під напругою.

Дія пристроїв захисного відключення заснована на тому, що через диференціальний трансформатор струму пропускають усі проводи лінії, що захищається, включаючи нульовий провід, завдяки чому геометрична сума струмів дорівнює нулю навіть при несиметричному навантаженні фаз. За такої рівноваги струмів пристрій не спрацьовує. При замиканні однієї фази на корпус виникає струм витоку, що не проходить через диференціальний трансформатор струму. Струм небалансу, що з'явився при цьому в диференціальному трансформаторі, викликає спрацьовування пристрою захисного відключення.

Уставка на струм витоку повинна бути більше природних струмів витоку електроприймачів, приєднаних до мережі що захищається, інакше можуть виникати помилкові відключення. Разом з тим загроблення уставок струмів витоку знижує надійність захисту від поразки електричним струмом.

8.5.2 Розділові трансформатори

Знижувальні трансформатори з вторинною напругою не більш 42 В і заземленою вторинною обмоткою не забезпечують необхідної безпеки у випадку порушення ізоляції між обмотками. У цьому випадку у вторинне коло переходить напруга первинного кола і людина може виявитися під потенціалом, небезпечним для життя.

Цього недоліку можна уникнути, застосовуючи так звані розділові трансформатори. Ці трансформатори мають підвищену ізоляцію, завдяки чому значною мірою знижується можливість переходу напруги первинної обмотки у вторинну. Розділові трансформатори не обов'язково повинні бути знижувальними, однак вторинна напруга не повинна бути більше ніж 400 В.

Прагнення до створення найбільших зручностей призвело до улаштування у ванних кімнатах квартир, готелів і гуртожитків штепсельних розеток для вмикання в них деяких побутових електроприймачів, що споживають невелику потужність. До таких електроприймачів відносяться електробритви, вібраційні прилади для масажу тощо. Однак, установка штепсельної розетки у ванній кімнаті з приєднанням її безпосередньо до мережі квартири являє безумовну небезпеку для людей і ПУЕ заборонена. Справа в тому, що в умовах ванної кімнати (зазвичай вкрай тісне приміщення, у якому є заземлені металеві частини – крани, труби, ванна тощо), несправність ізоляції електроприймача або штепсельної розетки може призвести до важких травм. Штепсельна розетка у ванній кімнаті повинна включатися тільки через розділовий трансформатор, завдяки чому побутовий електроприймач ізолюється від загальної мережі квартири, тобто виключаються умови, що спричиняють підвищену небезпеку.

Вторинну обмотку розділового трансформатора й електроприймач, підключений до нього, заземлювати заборонено.

За відсутності заземлення дотик до частини, що знаходиться під напругою, або до корпусу з ушкодженою ізоляцією не створює небезпеки, тому що вторинне коло розділового трансформатора коротке і струми витоку в ньому при справній ізоляції невеликі. Якщо при цьому виникає пошкодження

ізоляції й на іншій фазі вторинного кола (подвійне замикання), то на корпусі електроприймача з'явиться напруга відносно землі, що в несприятливих випадках (наприклад, провідна підлога у ванній кімнаті) може стати небезпечним. Щоб зменшити імовірність появи подвійних замикань, до розділового трансформатора не варто приєднувати більше однієї розетки. Крім того, самі розділові трансформатори повинні мати високий рівень ізоляції, що досягається їх спеціальним виконанням.

Контрольні запитання до теми 8

1. Який вплив справляє електричний струм на організм людини?
2. На які групи поділяють приміщення залежно від небезпеки поразки електричним струмом?
3. Які можливі випадки дотику людини до струмопровідних частин?
4. Що розуміють під захисним заземленням?
5. Поясніть літерне позначення систем захисного заземлення.
6. Поясніть схему системи ІТ.
7. Поясніть схему системи ТТ.
8. Поясніть схему системи TN-C.
9. Поясніть схему системи TN-S.
10. Поясніть схему системи TN-C-S.
11. Наведіть приклади загальних заходів безпеки.
12. Які вимоги до заземлення?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання у будівництві [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко та ін. ; за ред. В. М. Охріменка. – Електрон. текст. дані. – Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 159 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/24338/1/2010%20печ.%20%2049Н%20навч.%20пос.%20електро.санбж.в%20буд..pdf>, вільний (дата звернення: 24.03.2026). – Назва з екрана.
2. Словник термінів законодавства України [Електрон. ресурс] / Об'єднана енергетична система України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://slovnyk.me/dict/ukrlaw_terms/Об_єднана_енергетична_система_України, вільний (дата звернення: 04.07.2026). – Назва з екрана.
3. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії [Електрон. ресурс] : підручник / В. М. Охріменко. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 286 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/53228/1/2018%20печ.%202П%20Охріменко%20СЕЕ.pdf>, вільний (дата звернення: 24.03.2026). – Назва з екрана.
4. ДСТУ 3465-96. Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення [Електрон. ресурс]. – Чинний від 1998-01.-01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держстандарт України, 1997. – 21 с. – Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_3465-96.pdf, вільний (дата звернення: 19.03.2026). – Назва з екрана.
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проєктування систем електропостачання промислових підприємств [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2025-01.-10. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU5/dstu-n_b_v.2.5-80-2015.pdf, вільний (дата звернення: 06.07.2026). – Назва з екрана.

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2017–01.–04. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_b_v.2.5-82-2016.pdf, вільний (дата звернення: 13.07.2026). – Назва з екрана.

7. Правила улаштування електроустановок [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – Режим доступу: <https://unidim.com.ua/sites/default/files/pue.pdf>, вільний (дата звернення: 19.03.2026). – Назва з екрана.

8. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ДНАОП 0.00-1.32-01) [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 21.06.2001 № 272.. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0272203-01>, вільний (дата звернення: 16.07.2026). – Назва з екрана.

9. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06?utm_source=chatgpt.com, вільний (дата звернення: 17.07.2026). – Назва з екрана.

10. ДБН В.2.5-23:2025 Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2026–01–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінбуд України, 2006. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=117699, (дата звернення: 04.07.2026). – Назва з екрана.

11. ДСТУ 3440-96 Системи енергетичні. Терміни та визначення [Електрон. ресурс]. – Чинний від 1997–01–07. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держстандарт України, 1997. – 45 с. – Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_3440-96.pdf, вільний (дата звернення: 16.07.2026). – Назва з екрана.

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2019–01–03. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 137 с. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf, вільний (дата звернення: 15.07.2026). – Назва з екрана.

13. Комплектні трансформаторні підстанції [Електрон. ресурс] : сайт ТОВ «Атлас ID». – Оновлюється постійно. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://elektroatlas.com.ua/komplektni-transformatorni-pidstanciji-ua>, вільний (дата звернення: 16.07.2026). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Допустимі тривалі струмові навантаження проводів

Марка проводу	Струмове навантаження, А		Марка проводу	Струмове навантаження, А	
	Зовні приміщень	Усередині приміщень		Зовні приміщень	Усередині приміщень
А-16	105	75	АС-10	80	50
А-25	135	105	АС-16	105	75
А-35	170	130	АС-25	130	100
А-50	215	165	АС-35	175	135
А-70	265	210	АС-50	210	165
А-95	320	255	АС-70	265	210
А-120	375	300	АС-95	330	260
А-150	440	365	АС-120	380	305
А-185	500	410	АС-150	445	365
А-240	590	490	АС-185	510	425
А-300	680	570	АС-240	610	505
Примітка. У позначенні марки проводу АС-240: А – алюмінієві проводи, АС – сталевалюмінієві проводи. (допустиме нагрівання +70 °С при температурі повітря +25; 240 – число вказує номінальний переріз проводу, мм ²).					

Таблиця А.2 – Допустимі тривалі струмові навантаження на алюмінієві проводи з гумовою і поліхлорвініловою ізоляцією

Переріз струмопровідної жили, мм ²	Струмові навантаження, А					
	проводи, прокладені відкрито	проводи, прокладені в одній трубі				
		два одножильних	три одножильних	чотири одножильних	один двожильний	один трижильний
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165

Таблиця А.3 – Довгостроково допустимі струмові навантаження для броньованих кабелів на напругу до 660 В марок ВВБ з мідними жилами й АВВБ з алюмінієвими жилами в полівінілхлоридній ізоляції й у полівінілхлоридній оболонці при одиночній прокладці у повітрі

Переріз жили, мм ²	Довгочасно допустиме навантаження, А			
	Кабелі ВВБ		Кабелі АВВБ	
	двожильні	три і чотирижильні	двожильні	три і чотирижильні
1,5	20	20	–	–
2,5	29	27	22	22
4	37	34	28	26
6	51	43	39	33
10	76	60	60	46
16	93	78	70	60
25	127	105	96	80
35	154	132	118	101
50	196	161	152	124
70	–	201	–	156
95	–	238	–	183

Таблиця А.4 – Активний опір голих алюмінієвих і мідних проводів

Алюмінієві провoda		Мідні провoda	
Переріз, мм ²	R_0 , Ом/км	Переріз, мм ²	R_0 , Ом/км
25	1,28	10	1,84
35	0,92	16	1,2
50	0,64	25	0,74
70	0,46		

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Орієнтовні питомі розрахункові електричні навантаження будинків та споруд (приміщень) громадського призначення [10, табл. 6.18]

Об'єкти масового будівництва	Одиниця вимірювання	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужності (cosφ)	реактивного навантаження (tgφ)
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування:				
а) повністю електрифіковані з кількістю посадочних місць до 500 включно;	кВт на місце	1,03	0,98	0,20
б) і кількістю місць понад 500 до 1 000 включно;		0,85	0,98	0,20
в) з кількістю місць понад 1 000;		0,75	0,98	0,20
г) частково електрифіковані (з плитами на газоподібному паливі) з кількістю місць до 500 включно;		0,80	0,95	0,33
д) з кількістю місць понад 500 до 1 000 включ.;		0,70	0,95	0,33
е) з кількістю місць понад 1 000		0,60	0,95	0,33
Підприємства роздрібної торгівлі:				
а) продовольчі без кондиціонування повітря;	кВт на м ² торгової зали	0,23	0,85	0,62
б) продовольчі з кондиціонуванням повітря;		0,25	0,80	0,75
в) промтоварні без кондиціонування повітря;		0,14	0,85	0,62
г) промтоварні з кондиціонуванням повітря;		0,15	0,80	0,75
д) універсами без кондиціонування повітря;		0,15	0,87	0,57
е) універсами з кондиціонуванням повітря		0,20	0,85	0,62
Загальноосвітні школи:				
а) з електрифікованими їдальнями та спортзалами;	кВт на одного учня	0,25	0,95	0,33
б) без електрифікованих їдалень, із спортзалами;		0,17	0,90	0,48
в) з буфетами, без спортзалів;		0,17	0,90	0,48
г) без буфетів і спортзалів		0,15	0,90	0,48
Професійно-технічні навчальні заклади з їдальнями	кВт на одного учня	0,45	0,8-0,92	0,75-0,48
Дитячі дошкільні заклади:				
а) з електрифікованими харчоблоками;	кВт на місце	0,45	0,98	0,20
б) з газовими плитами		0,20	0,98	0,20
Школи-інтернати	кВт на місце	1,10	0,95	0,33

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Будинки-інтернати для інвалідів та людей похилого віку	кВт на місце	2,20	0,93	0,40
Заклади охорони здоров'я і відпочинку:				
а) лікарні хірургічного профілю з електрифікованими харчоблоками;	кВт на ліжко-місце	2,50	0,92	0,43
б) хірургічні корпуси (без харчоблоків);		0,80	0,95	0,33
в) лікарні багатопрофільні з електрифікованими харчоблоками;		2,20	0,93	0,40
г) терапевтичні корпуси (без харчоблоків);		0,50	0,95	0,33
д) радіологічні корпуси (без харчоблоків);		0,70	0,95	0,33
е) лікарні дитячі з електрифікованими харчоблоками;		2,0	0,93	0,40
ж) терапевтичні корпуси дитячих лікарень (без харчоблоків)		0,40	0,95	0,33
Будинки відпочинку і пансіонати без кондиціонування повітря	кВт на місце	0,40	0,92	0,43
Дитячі табори	кВт на м ² житл. приміщ.	0,03	0,92	0,43
Поліклініки	кВт на відвід за зміну	0,15	0,92	0,43
Аптеки:	кВт на м ² торг. зали			
а) без приготування ліків;		0,12	0,93	0,40
б) з приготуванням ліків		0,17	0,90	0,48
Кінотеатри та кіноконцертні зали:	кВт на місце			
а) з кондиціонуванням повітря;		0,15	0,92	0,43
б) без кондиціонування повітря		0,12	0,95	0,33
Театри та цирку	кВт на місце	0,35	0,90	0,48
Палаци культури, клуби	кВт на місце	0,45	0,92	0,43
Готелі (без ресторанів)				
а) з кондиціонуванням повітря;	кВт на місце	0,50	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,35	0,85	0,62
Фабрики хімчистки та пральні самообслуговування	кВт на кг речей	0,08	0,075	0,88
Комбінати побутового обслуговування населення	кВт на робоче місце	0,60	0,85	0,62
Перукарні	кВт на робоче місце	1,45	0,97	0,25
Гуртожитки:				
а) з електроплитами на кухнях;	кВт на місце	0,50	0,95	0,33
б) без електроплит на кухнях		0,20	0,93	0,40

Закінчення таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Будівлі (приміщення) для науково-дослідних установ, проєктних, управлінських, громадських організації та культових закладів, адміністративні будинки підприємств а) з кондиціонуванням повітря; б) без кондиціонування повітря	кВт на м ² корисної площі	0,055 0,04	0,85 0,90	0,62 0,48
Навчальні корпуси вищих, середніх спеціальних навчальних закладів (без їдалень): а) з кондиціонуванням повітря; б) без кондиціонування повітря	кВт на м ² корисної площі	0,05 0,035	0,90 0,92	0,48 0,43
Лабораторні корпуси вищих і середніх спеціальних навчальних закладів (без їдалень): а) з кондиціонуванням повітря; б) без кондиціонування повітря	кВт на м ² корисної площі	0,07 0,055	0,85 0,87	0,62 0,57
Гаражі (стоянки) індивідуального автотранспорту: а) стаціонарні відкриті стоянки; б) закриті гаражі-бокси; в) закриті багатоповерхові та підземні гаражі	кВт на місце	0,05 0,12 0,22	0,90 0,90 0,87	0,48 0,48 0,57
Примітка 1. Наведені питомі електричні навантаження призначаються для орієнтовного (попереднього) визначення розрахункового навантаження на вводах до ординарних об'єктів (будівель, приміщень) і враховують усереднений комплекс установлюваних електроприймачів (включаючи комп'ютерну техніку). Примітка 2. Для підприємств громадського харчування питоме навантаження не залежить від наявності кондиціонерів повітря. Примітка 3. Для професійних навчальних закладів з їдальнями та дитячих дошкільних закладів навантаження басейнів і спортивних залів не враховані. Примітка 4. Для будинків відпочинку і пансіонатів без кондиціонування повітря, дитячих таборів, готелів (без ресторанів), будівель (приміщень) для науково-дослідних установ, проєктних, управлінських, громадських організацій, культових споруд, адміністративних будинків підприємств навантаження їдалень закритого типу та ресторанів не враховано. При потребі його необхідно визначати за питомими показниками підприємств громадського харчування за заданою кількістю місць. Примітка 5. Для побутових будинків підприємств використовують зафіксовані в таблиці показники відповідних за призначенням громадських будинків.				

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Основні показники уніфікованих підстанцій міського типу

Тип ТП	Число й потужність трансформаторів , кВА	Площа забудови, м ²	Будівельний об'єм, м ³
В-21-160 м4	1 × (100–160)	17,3	125,7
В-41-400 м4	1 × (100–400)	14,3	148,6
В-42-400 м4	2 × (100–400)	30,03	463,0
К-31-400 м4	1 × (100–400)	32,2	127,5
К-31-630 м4	1 × 630	37,7	150,8
К-42-400 м4	2 × (100–400)	51,94	201,5
К-42-630 м4	2 × 630	64,25	243,4
КСК-42-630 м4	2 × 630	83,60	324,3

Таблиця В.2 – Комплектні трансформаторні підстанції

Тип	Потужність, кВА	Напруга, кВ		Габаритні розміри, м	Маса, кг
		ВН	НН		
КТПН-62-320/180К	160–320	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 2,7	2 000
КТПН-62-320/180В	160–320	6–10	0,4	2,1 × 3,2 × 5,1	2 300
КТПН-62-320/180У	160–320	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 5,1	2 400
КТПН-62-63 0-К	630	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 2,7	2 400
КТПН-62-63 0-В	630	6–10	0,4	2,1 × 3,2 × 5,1	2 700
КТПН-62-63 0-У	630	6–10	0,4	2,3 × 3,3 × 5,1	2 800
КТПН-72М1-160-К	160	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 800
КТПН-72М1-250-К	250	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 850
КТПН-72М1-400-К	400	6–10	0,4	2,4 × 2,6 × 2,7	1 900
Примітка. В типі КТПН остання буква вказує на вид підключення до мережі: К – кабельне; В – повітряне; У – універсальне.					

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Номінальні струми автоматичних вимикачів серії АЕ

Тип вимикача	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм максимальних розчеплювачів, А
АЕ2020	16	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0
АЕ2040М	63	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40; 50; 63
АЕ2050М	100	100; 125;
АЕ2060	160	16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160

Таблиця Г.2 – Комутаційна здатність вимикачів АЕ20 і АЕ20М

Тип вимикача	Ступінь захисту	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм розчеплювача, А	Максимальна комутаційна здатність, кА	Одноразова максимальна комутаційна здатність, кА
АЕ2020	IP00	16	0,3–1,6	4	12
			2,0–6,0	1	12
	IP20		8,0–16,0	2	4
АЕ2040М	IP00	63	0,6–1,6	5	6,5
	IP20		2–12,5	1,5	6,5
	IP54		0,6–4	0,8	6,5
			5–12,5	1,5	6,5
	IP00		15–64	4,5	6,5
АЕ2060		160	16–25	3,5	6
	IP00		31,5–40	6	6
	IP20		50–100	9	15
			125–160	11,5	17

Примітка. Вимикачі АЕ20 і АЕ20М випускають одно- і триполюсними на напругу до 660 В змінного струму частотою 50 і 60 Гц.

Таблиця Г.3 – Технічні характеристики вимикачів серії ВА-2004

Тип вимикача	ВА-2004 /30	ВА-2004 /50	ВА-2004 /60	ВА-2004 /100	ВА-2004 /250	ВА-2004 /400	ВА-2004 /630	ВА-2004 /800
U_n , В	660							
Кільк. полюсів	3			3, 4				
I_n , А	10, 15, 20 30	10, 20, 30, 40, 50	40, 50, 60, 75	100, 125, 150	200, 225, 250	350, 400	600, 630, 700	800
Комутаційна зносостійкість, циклів	15 000	12 000	12 000	12 000	10 000	8 000	5 000	4 000
Гранична комутаційна здатність, I_{max} , кА								
АС240В	25	25	25	50	50	85	85	85
АС380В	18	18	18	35	35	50	50	50
АС660В	5	5	5	10	10	25	25	25

Таблиця Г.4 – Технічні характеристики вимикачів ВА-2005

Тип вимикача	Комутаційна здатність, кА при 220 В	Стандартні потужності трифазних електродвигунів (f = 50/60Гц), кВт			Діапазон тепл. відключення розчеплювачів, А	Струм електромагн. циклів, А при $\lambda=\pm 20\%$	Зносостійкість при 220 В
		220 В	380 В	660 В			
ВА-2005 М01	6,0	0,02	0,04	-	0,1–0,16	1,5	15 000
ВА-2005 М02	6,0	0,029	0,06	-	0,16–0,25	2,4	15 000
ВА-2005 М03	6,0	0,043	0,09	-	0,25–0,40	5,0	15 000
ВА-2005 М04	6,0	0,05	0,12	0,37	0,40–0,63	8,0	15 000
ВА-2005 М05	6,0	0,12	0,25	0,55	0,63–1,0	13,0	15 000
ВА-2005 М06	6,0	0,27	0,56	0,75	1,0–1,6	22,5	12 000
ВА-2005 М07	6,0	0,37	0,75	1,5	1,6–2,5	33,5	12 000
ВА-2005 М08	6,0	0,75	1,1	2,2	2,5–4,0	51,0	12 000
ВА-2005 М10	6,0	1,1	2,2	4,0	4,0–6,3	78,0	10 000
ВА-2005 М14	6,0	2,2	3,0	5,5	6,0–10,0	138,0	10 000
ВА-2005 М16	8,0	3,0	5,5	9,0	9,0–14,0	170,0	9 000
ВА-2005 М20	8,0	4,0	7,5	15,0	13,0–18,0	223,0	8 000
ВА-2005 М21	10,0	5,5	9,0	18,5	17,0–23,0	327,0	6 000
ВА-2005 М22	10,0	5,5	11,0	20,0	20,0–25,0	327,0	5 000
ВА-2005 М32	12,0	7,5	15,0	22,0	24,0–32,0	416,0	4 500
ВА-2005 М40	12,0	11,0	18,5	33,0	30,0–40,0	520,0	4 500
ВА-2005 М63	12,0	15,0	30,0	55,0	45,0–63,0	787,0	4 000
ВА-2005 М80	12,0	22,0	40,0	63,0	67,0–75,0	1 000,0	3 500

Електронне навчальне видання

ОХРИМЕНКО Вячеслав Миколайович,

КОРНЕЛЮК Сергій Іванович,

КАРЮК Андрій Олександрович

**ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія,
освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *В. М. Охріменко, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 221Л

Підп. до друку 01.07.2026. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 10,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.