



Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та  
енергетичного менеджменту

## **ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи «Вивчення будови та  
принципів вибору запобіжників»  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**Харків  
2024**



Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та  
енергетичного менеджменту

## ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи «Вивчення будови та принципів  
вибору запобіжників» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти денної форми навчання  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Затверджено рішенням  
науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та комп'ютерних  
технологій  
Протокол № 5  
від 29 лютого 2024 року

Харків  
2024

УДК 621.31

С 31

Схвалено на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного менеджменту  
Протокол №8 від 20.02.2024 р.

**Рецензенти:**

**С. О. Тимчук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

**Ю. М. Хандола**, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С 31 Електричні станції і підстанції: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Вивчення будови та принципів вибору запобіжників» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: О. А. Савченко, С. А. Попадченко – Харків: [б. в.], 2024. – 34 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Видання призначена для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**УДК 621.31**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук

© Савченко О. А., Попадченко С. А., 2024

© ДБТУ, 2024

# Лабораторна робота

## «ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПІВ ВИБОРУ ЗАПОБІЖНИКІВ»

### I. Мета роботи

1. Ознайомитися з улаштуванням та принципом роботи плавких запобіжників напругою до і вище 1000 В.

2. Набути навички щодо вибору плавких запобіжників і їх перевірки на стійкість до струмів короткого замикання.

### II. Звіт по роботі повинен мати:

1. Мету роботи.
2. Технічний рисунок запобіжника типу ПК-10.
3. Вибір високовольтного запобіжника згідно заданих вихідних даних.
4. Висновки по роботі.

### III. Пояснення до роботи

#### 3. 1. Загальні відомості про запобіжники

*Запобіжник - однополюсний електричний апарат, призначений для захисту електричних кіл від струмових перевантажень (понад 3-кратного від номінального) і коротких замикань.*

Запобіжники характеризуються різноманітністю конструкцій. Але всі вони мають такі основні елементи:

корпус або несучу деталь, плавку вставку, контактний приєднувальний пристрій та дугогасне середовище.

Відключення кола запобіжником здійснюється шляхом розплавлення плавкої вставки, яка нагрівається струмом кола, що захищається.

Запобіжники характеризуються номінальним струмом плавкої вставки, тобто струмом, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи. В один і той же корпус запобіжника можуть бути вставлені плавкі вставки на різні номінальні струми, тому сам

запобіжник характеризується номінальним струмом запобіжника, який дорівнює найбільшому з номінальних струмів плавких вставок, призначених для даної конструкції запобіжника.

У нормальному режимі тепло, що виділяється струмом навантаження в плавкій вставці, передається в навколишнє середовище, і температура всіх частин запобіжника не перевищує допустиму. При перевантаженнях і короткому замиканні збільшується температура вставки, що призводить до її розплавлення.

Очевидно, що чим більше струм, тим менше час плавлення вставки.

Залежність часу плавлення (спрацьовування) запобіжника від струму називається його часо-струмовою характеристикою (рис. 1, рис. 2).

Характеристика залежить від матеріалу плавкої вставки, її перерізу, умов охолодження та інших факторів.

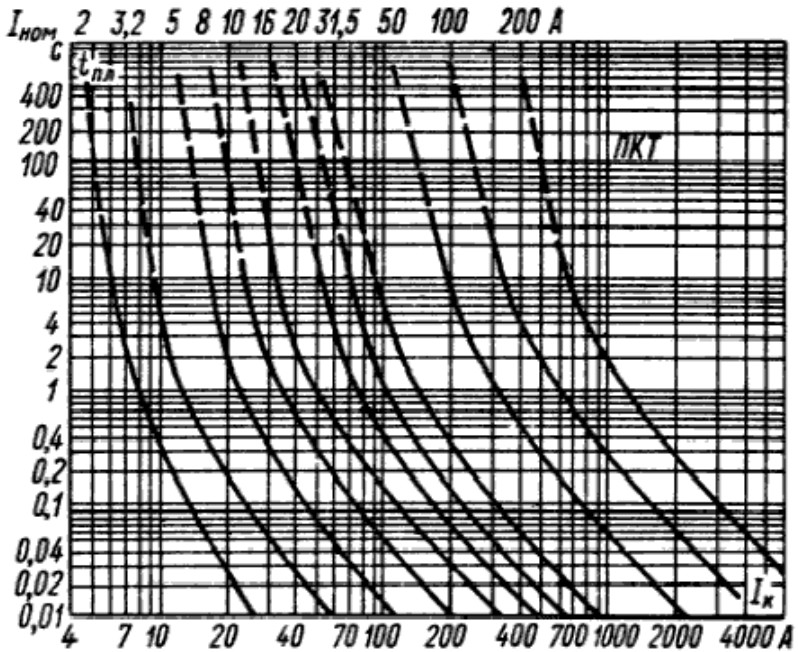
Мінімальний струм, при якому спрацьовує запобіжник, називається граничним струмом  $I_{гр}$ .

При випробуваннях за граничний приймається струм, при якому час плавлення вставки запобіжника перевищує одну годину.

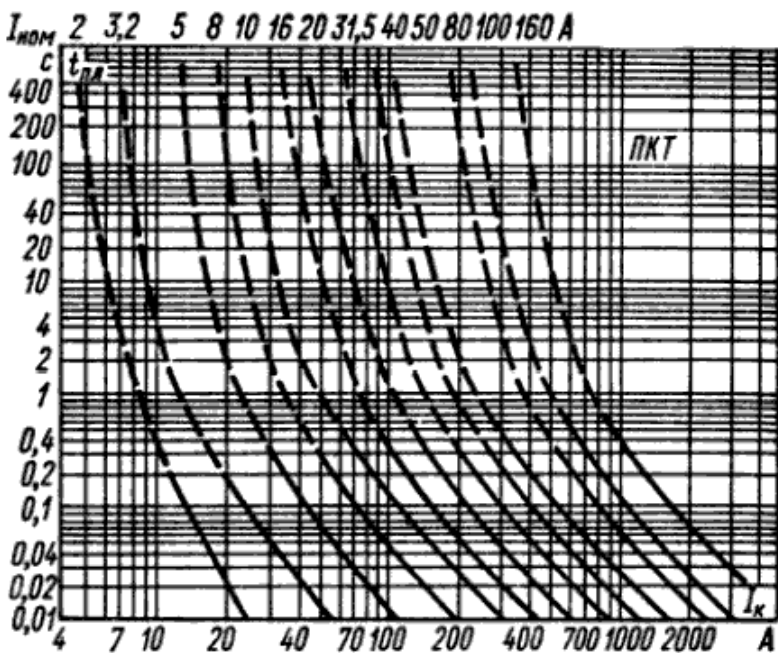
Номінальний струм плавкої вставки вибирається так, щоб в нормальному режимі і при короткочасних допустимих перевантаженнях відключення не відбувалося, а при тривалих перевантаженнях і коротких замиканнях коло відключалося якомога швидше.

Плавкі вставки - основний елемент запобіжника - можуть виготовлятися з міді, цинку, свинцю, а в найбільш відповідальних випадках - зі срібла.

Цинк і свинець мають низьку температуру плавлення (відповідно 419 °C і 327 °C). Цинк стійкий до корозії, тому перерізи плавких вставок не змінюються під час експлуатації, характеристика залишається постійною.



**Рисунок 1 - Часо-струмові характеристики запобіжників типу ПКТ-101-10 з номінальним струмом відключення 12,5 кА.**



**Рисунок 2 - Часо-струмові характеристики запобіжників типу ПКТ-101-10, ПКТ-102-10, ПКТ-103-10, ПКТ-104-10 з номінальними струмами відключення 20 кА і 31,5 кА.**

Це призводить до того, що  $I_{гр}$  може змінюватися в значних межах. Цинк і свинець мають більший питомий опір, тому виготовлені з них плавкі вставки мають більший переріз. Такі вставки можна застосовувати в запобіжниках без наповнювачів. Запобіжники зі вставками з цинку і свинцю мають великі витримки часу при перевантаженнях.

Мідь і срібло мають малий питомий опір, переріз вставки невеликий, що забезпечує їх швидке спрацьовування.

Такі вставки застосовуються в запобіжниках з наповнювачем, де дуже важливо зменшити об'єм металу, що плавиться. Для зменшення окислення в процесі експлуатації зазвичай застосовують луджені мідні вставки.



Срібні вставки не окислюється, і їх характеристики стабільні, але з огляду на велику вартість такі вставки застосовуються лише в особливо відповідальних випадках.

Так як температура плавлення міді складає 1080 °С при граничних струмах, то температура всіх елементів запобіжника стає дуже великою.

Щоб забезпечити швидке спрацьовування запобіжника, не допускаючи високих температур, використовують «металургійний ефект».

Це - явище розчинення тугоплавких металів в рідких, менш тугоплавких.

Якщо, наприклад, на мідний дріт діаметром 0,25 мм напаяти кульку з олов'яно-свинцевого сплаву з температурою плавлення 182 °С, то при температурі дроту 650 °С вона розплавиться протягом 4 хвилин, а при 350 °С протягом 40 хвилин. Той же дріт без розчинника плавиться при температурі не менше 1000 °С.

Зазвичай для створення металургійного ефекту на мідних і срібних вставках застосовують чисте олово, що має більш стабільні властивості.

У нормальному режимі роботи олов'яна кулька не впливає на роботу запобіжника.

Після плавлення вставки виникає електрична дуга, яку треба погасити якомога швидше. У запобіжниках для гасіння дуги використовують ефект вузької щілини, високий тиск газів або дуття.

Найбільший струм, який може бути відключений запобіжником без будь-якого пошкодження або деформації, називається граничним струмом відключення.

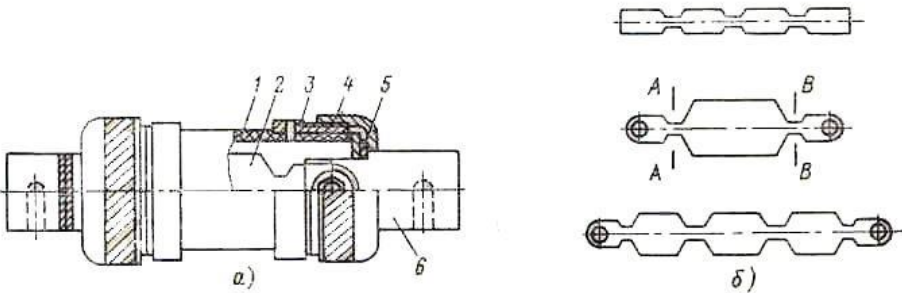
### **3. 2. Конструкція запобіжників**

#### **Запобіжники напругою до 1000 В**

Для мереж до 1000 В слід надавати перевагу запобіжникам перед автоматичними вимикачами у всіх випадках, коли вони можуть забезпечити необхідну чутливість і вибірковість захисту.

**а) Запобіжники з закритими розбірними патронами без наповнювача типу ПР-2 (рис.3) виготовляються на змінну напругу 220 В і 500 В і струми патронів від 15 до 1000А.**

Граничний струм відключення залежить від номінального струму і лежить в межах 1200-2000 А.



**Рисунок 3 – Запобіжник розбірний типу ПР-2:**

**а) патрон запобіжника ПР-2; б) пластини з вирізами:**

1 - фіброва трубка; 2 – плавка вставка; 3 – латунні втулки; 4 – ковпачки; 5 – шайба.

Патрон запобіжника ПР-2 (рисунок 3, а) на струми 100 А і вище складається з товстостінної фібрової трубки 1, на яку щільно насаджені латунні втулки 3, що запобігають розриву трубки. На втулки нагвинчують ковпачки 4, які закріплюють плавку вставку 2, пригвинчену до ножів 6 до установки її в патрон. Для запобігання повороту ножів передбачена шайба 5, що має паз для ножа.

Патрон вставляється в нерухомі контактні стійки, закріплені на ізоляційній плиті. Відповідний контакт забезпечується кільцевою або пластинчастою пружиною.

Патрон вставляється в нерухомі контактні стійки, закріплені на ізоляційній плиті. Відповідний контакт натискання забезпечується кільцевою або пластинчастою пружиною.

Плавкі вставки виготовляються з цинку і мають вигляд пластини з вирізами (рис. 3, б). На звужених ділянках виділяється більше тепла, ніж на широких. При номінальному струмі надлишкове тепло завдяки теплопровідності цинку передається широким частинам. Тому вся вставка має приблизно однакову температуру.

При перевантаженнях нагрів вузьких ділянок відбувається швидше, так як тільки частина тепла відводиться до широких ділянок.

Вставка плавиться в точці з найбільшою температурою (переріз А-А рисунок 3, б). При струмах к. з. вузькі ділянки нагріваються настільки швидко, що відведення тепла майже не відбувається. Вставка перегорає одночасно у всіх або кількох звужених місцях.

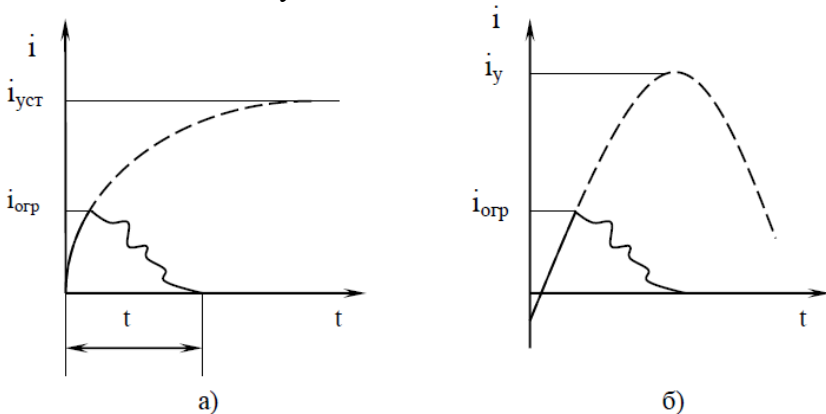
Після перегорання вставки виникає дуга, яка викликає утворення газів (50% СО, 40% Н, 10% парів Н<sub>2</sub>О).

Тиск, в залежності від струму, що відключається, може досягати 10 МПа і більше.

Високий тиск сприяє охолодженню, деіонізації і гасінню дуги.

При коротких замиканнях звужена ділянка вставки починає плавитися перш, ніж струм к. з. досягне свого сталого значення в колі постійного струму або ударного струму в колі змінного струму (рис. 4). Струм к. з. в колі при цьому обмежується до значення  $I_{огр}$ . Такі запобіжники називаються струмообмежувачами.

Кола, захищені струмообмежувачами запобіжниками, не перевіряються на термічну та динамічну дію струмів к. з. У момент перегорання вставки виникає перенапруга, обумовлена наявністю в колі індуктивного опору. Великі амплітуди перенапруг можуть призвести до перекриття ізоляції, тому в плавкій вставці передбачається кілька звужених місць.



**Рисунок 4 – Струмообмежувачий ефект запобіжника.**

При їх черговому плавленні повна довжина дугового проміжку вводиться в коло не відразу, а ступенями. Коли звужені ділянки перегорають, широкі частини вставки падають вниз, не плавлячи і

не засмічуючи обсяг трубки парами металу. Це покращує умови гасіння дуги.

Перевагою запобіжників ПР-2 є простота їх перезарядки, недоліком - дещо більші розміри, ніж у насипних запобіжників.

**б) Запобіжники насипні типу ПН-2** (рис. 5) застосовуються для захисту силових кіл до 500 В змінного і 440 В постійного струму і виконуються на номінальні струми 100-600 А. Ці запобіжники більш досконалі, ніж запобіжники ПР-2. Корпус квадратного перерізу 1 запобіжника типу ПН-2 виготовляється з міцної порцеляни або стеатиту. Усередині корпусу розташовані стрічкові плавкі вставки 2 і наповнювач - кварцовий пісок 3. Плавкі вставки приварюються до диску 4, який кріпиться до пластин 5, зв'язаного з ножовими контактами 9. Пластини 5 кріпляться до корпусу гвинтами.

В якості наповнювача в запобіжниках ПН-2 використовується кварцовий пісок з вмістом  $\text{SiO}_2$  не менше 98%, з зернами розміром  $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$  м і вологістю не вище 3%. Перед засипанням пісок ретельно просушується при температурі 120-180 °С. Зерна кварцового піску мають високу теплопровідність і добре розвинену поверхню охолодження.

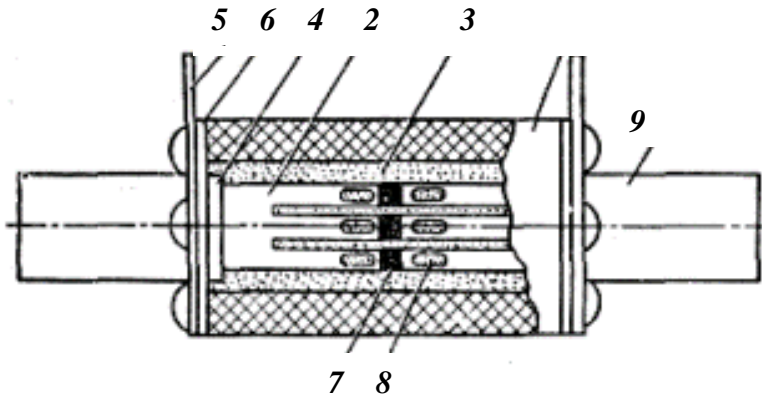
Замість кварцу може бути застосована крейда ( $\text{CaCO}_3$ ), іноді її змішують з азбестовим волокном. При гасінні дуги крейда розкладається з виділенням вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  і  $\text{CaO}$  - тугоплавкого матеріалу. Реакція відбувається з поглинанням енергії, що сприяє гасінню дуги. Іноді для засипання застосовують гіпс ( $\text{CaSO}_4$ ) і борну кислоту.

У насипних запобіжниках замість порцелянових трубок можуть застосовуватися трубки з склотканини, просоченої теплостійкими лаками, із стеатиту, або литі з пластмас або ізоляційних смол.

Плавка вставка запобіжників ПН-2 виконується з мідної стрічки товщиною 0,1 - 0,2 мм.

Для отримання ефекту струмообмеження вставка має звужені перерізи 8. Плавка вставка розділена на три паралельних гілки для більш повного використання наповнювача. Застосування тонкої стрічки, ефективний тепловідвід від звужених ділянок дозволяють

вибрати невеликий мінімальний переріз вставки для даного номінального струму, що забезпечує високу струмообмежувальну здатність.



**Рисунок 5 – Запобіжник насипний типу ПН-2:**

1 - корпус; 2 – стрічкові плавкі вставки; 3 – кварцевий пісок; 4 – диск; 5 – пластини; 6 – азбестова прокладка; 7 – олов'яні смужки; 8 – звужені перерізи; 9 – ножові контакти.

З'єднання декількох звужених ділянок послідовно сприяє уповільненню зростання струму після плавлення вставки, так як зростає напруга на дузі запобіжника.

Для зниження температури плавлення на вставки наносяться олов'яні смужки 7 (металургійний ефект).

#### ***Принцип дії запобіжника ПН-2***

При короткому замиканні плавка вставка запобіжника ПН-2 згорає і дуга горить в каналі, утвореному зернами наповнювача.

Через горіння в вузькій щілині при струмах вище 100 А дуга має зростаючу вольт-амперну характеристику.

Цим забезпечується гасіння дуги за кілька мілісекунд.

Після спрацювання запобіжника плавкі вставки разом з диском 4 замінюються, після чого патрон засипається піском. Для герметизації патрона під пластини 5 кладеться азбестова прокладка 6, що охороняє пісок від зволоження. При номінальному струмі 40 А і нижче запобіжник має більш просту конструкцію.

#### ***Технічні характеристики запобіжників ПН-2***

Запобіжники ПН-2 виконуються на номінальний струм до 630 А. Граничний струм відключення короткого замикання, який може відключатися запобіжником, досягає 50 кА (діюче значення струму металевого короткого замикання мережі, в якій встановлюється запобіжник). Малі габарити, незначна витрата дефіцитних матеріалів, висока струмообмежуюча здатність є перевагами запобіжника ПН-2.

### **Запобіжники на напругу понад 1000 В**

*Високовольтний запобіжник - це захисний однополюсний апарат, який забезпечує автоматичне однократне вимкнення високовольтного кола при короткому замиканні. Перед наступним вмиканням кола необхідно замінити плавку вставку в запобіжнику, що перегоріла, на справну. Ця операція проводиться вручну.*

Високовольтні запобіжники характеризуються:

номінальною напругою -  $U_{ном}$ ;

номінальним струмом -  $I_{ном. перед.}$  ;

номінальним струмом плавкої вставки -  $I_{ном. вст.}$  ;

номінальним струмом вимикання -  $I_{ном. вим.}$

Виготовляються вони на напругу до 110 кВ, номінальні струми до 400 А і струми вимикання до 40 кА.

Плавкі вставки до запобіжників випускаються на струми від 2 А до 400 А з кроком приблизно рівним 1,6

Автоматичне вимкнення кола відбувається за рахунок розплавлення спеціально передбаченої в запобіжнику плавкої вставки під впливом викликаного струму, що перевищує певне значення. Електрична дуга, що виникає при цьому, гаситься спеціальним дугогасним пристроєм. В закритих розподільних пристроях напругою 6 і 10 кВ застосовуються запобіжники ПК і ПКТ. Структура умовного позначення запобіжників показана на рис.б.

Залежність часу плавлення плавкої вставки від струму кола називають захисною характеристикою або часо-струмовою характеристикою плавкої вставки (рис.7.).

Інтервали часу захисної характеристики стандартизовані і знаходяться в межах від 0,01 с до 1 години.

Значення струму, при якому плавка вставка плавиться ( $I_{пл.}$ ) протягом 1 години, за нормами ПУЕ має бути більше 130% і менше 200%  $I_{ном. вст.}$  ..

**Запобіжники серії ПК** з дрібнозернистим наповнювачем виконуються на напруги 3,6,10,35 кВ і номінальні струми 400,300,200 і 40 А відповідно і забезпечені вказівником спрацювання. Ці запобіжники мають струмообмежуючий ефект, повний час відключення при струмах к. з. 0,005-0,007 с.

Патрон запобіжника (рис.8) складається з порцелянової трубки, армованої латунними ковпачками. Усередині патрона розміщені мідні або срібні плавкі вставки.

Для забезпечення нормальних умов гасіння дуги плавкі вставки повинні мати значну довжину і малий переріз. Це досягається застосуванням декількох паралельних вставок 5, намотаних на ребристе керамічне осердя (рис 8, а), або, при великих струмах, кількох спіральних вставок (рис.8, б).

ПК Т ХХХ - 10 - 16 - 315 У 3

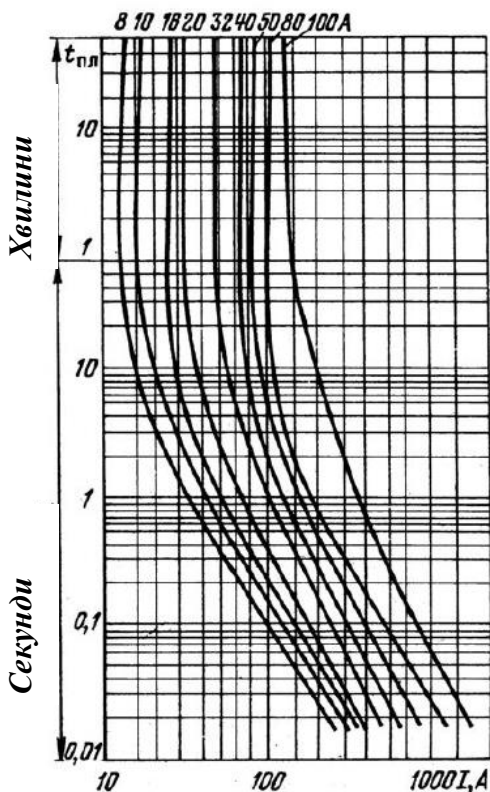
<i>3 - Запобіжник</i>					
<i>К - Кварцевий</i>					<i>Категорія розміщення</i> <i>1 - на відкритому повітрі;</i> <i>3 - для роботи в закритому приміщенні з природною вентиляцією</i>
<i>Т - для захисту силових трансформаторів (струмообмежуючі)</i>					<i>Кліматичне виконання</i> <i>У - для районів з помірним кліматом;</i> <i>Т - для районів з пролічним кліматом</i>
<i>Тризначна цифра</i> <i>101, 105 - номер серії</i>					<i>Номинальний струм відключення, кА</i>
<i>Номинальна напруга для запобіжників кліматичного виконання У або найбільша номинальна напруга для запобіжників кліматичного виконання Т, кВ</i>					<i>Номинальний струм запобіжника, А</i>

**Рисунок 6 – Структура умовного позначення запобіжників.**

Запобіжники серії ПК (встановлені в КТП 10/0,4 на полігоні) мають металеву основу з ізоляторами, контактну систему з затискачами для приєднання струмопровідних частин кола, патрон з плавкою вставкою.

Патрон запобіжника ПК представляє собою порцеляно-ву (скляну) трубку 3, армовану по кінцях латунними ковпачками 2. Всередині трубки розміщується плавка вставка з міді або срібла. Для забезпечення нормальних умов гасіння дуги плавка вставка повинна мати значну довжину і малий переріз. Це досягається застосуванням декількох паралельних вставок, намотаних на ребристе керамічне осердя або виконаних спірально.





**Рисунок 7 -. Часо-струмові характеристики запобіжника типу ПК-10.**

Щоб зменшити температуру плавлення вставок, на них в декількох місцях напаяні олов'яні кульки б.

Патрон зі вставкою засипається кварцевим піском 4, закривається торцевими кришками 1 і запаюється герметично. На нижній кришці патрона є покажчик спрацьовування 7. Він складається з втулки з пружиною, натягнутим тонким сталевим дротом-вставкою. При перегоранні мідних плавких вставок перегорає і сталава, пружина звільняється і вискакує з втулки назовні, сигналізуючи, що запобіжник спрацював.

Дуга, що виникає при перегоранні вставки, горить у вузькому звивистому каналі і, стикаючись з сипучим піском, добре

оохолоджується і гасне за час 0,005-0,007 с. Виникаючі при цьому перенапруги можуть бути значними.

Щоб обмежити їх величиною 3-4  $U_{\phi}$ , плавкі вставки виконують з дротів, що мають по довжині 2-3 різних перерізи. В окремих конструкціях кварцевих запобіжників для цього можуть встановлюватися допоміжні вставки з іскровими проміжками.

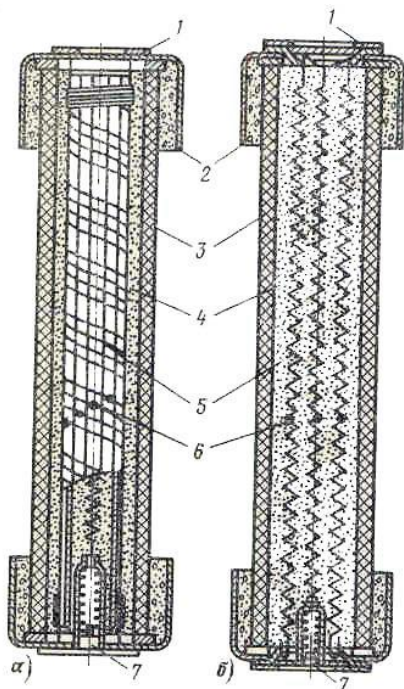
Для зменшення температури плавлення плавкої вставки використано металургійний ефект.

Сталева вставка перегорає після робочих вставок, коли по ній проходить весь струм. Швидке гасіння дуги у вузьких каналах між зернами кварцу призводить до перенапруги, небезпечної для ізоляції установки.

Для зниження перенапруг штучно затягують гасіння дуги, застосовуючи плавкі вставки різного перерізу по довжині або плавкі вставки з іскровими проміжками, включені паралельно основним робочим вставкам.

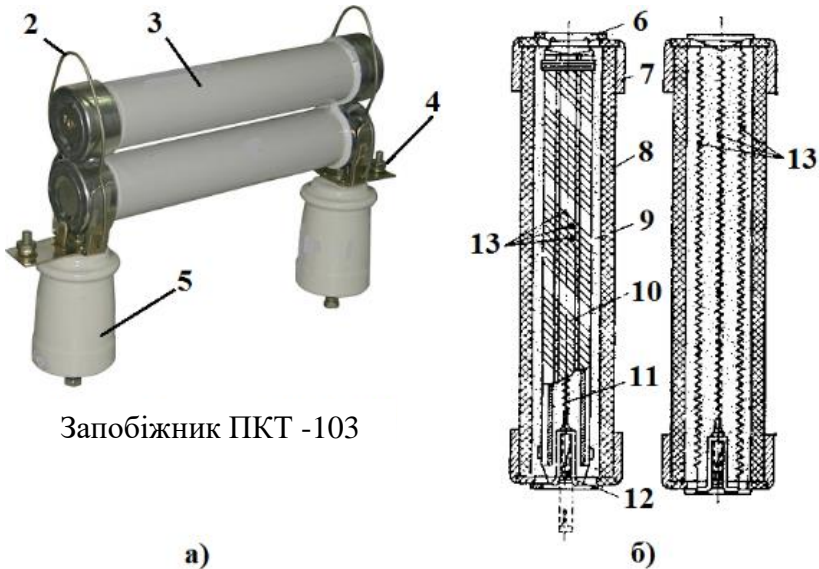
В запобіжниках останньої конструкції спочатку розплавляється робоча вставка, при перенарузі, яка виникла, пробивається іскровий проміжок допоміжної вставки, яка також перегорає.

***Кварцові запобіжники типу ПКН(колишня назва ПКТ, рис. 9, Т- струмообмежуючий, з однією плавкою вставкою із високоомного матеріалу – константану) служать для захисту трансформаторів напруги і відрізняються від запобіжників типу ПК меншими розмірами і відсутністю вказівника спрацювання.***



**Рисунок 8 – Запобіжник кварцевий типу ПК-10(6):**  
**а) на струм до 7,5 А; б) на струм більше 7,5А;**  
 1 – торцева кришка; 2 – латунний ковпачок; 3 – порцелянова трубка; 4 - кварцовий пісок; 5 плавка вставка; 6 – кульки з олова ; 7 – показчик спрацювання.

На відміну від розглянутих запобіжників ПК вони мають константову плавку вставку, намотану на керамічне осердя. Така вставка має більш високий питомий опір. Завдяки цьому і малому перерізу вставки забезпечується струмообмежуючий ефект.



Запобіжник ПКТ -103

**Рисунок 9 - Запобіжник кварцовий типу ПКТ-103:**

*а* - загальний вигляд (ПКТ-103), *б* - патрони запобіжника на керамічному стрижні (зліва) і без стрижня (праворуч), 1 - плита (під опорні ізолятори 5 не відображено), 2 - контакт з замком, 3 - патрон, 4 - хвостовик контакту, 5 - опорний з-тор, 6 - кришка, 7 - латунний ковпачок, 8 - порцелянова трубка (кожух), 9 - стрижень, 10 – плавка вставка, 11 - вказівний дріт, 12 - вказівник спрацьовування, 13 - олов'яні кульки.

Запобіжники ПКН можуть бути встановлені в мережі з досить великою потужністю короткого замикання (1000 МВА), а потужність, що відключається, посилених запобіжників ПКНУ взагалі не обмежується.

Запобіжники ПКН в порівнянні з ПКТ мають менші розміри і не забезпечені покажчиком спрацьовування (про перегорання плавкої вставки можна судити за показниками приладів, підключених до вторинної сторони трансформаторів напруги).

### ***Переваги запобіжників:***

- 1) Простота конструкції.
- 2) Економічність.
- 3) Малий час спрацювання.

### ***Недоліки запобіжників:***

1) Неточність калібрування номінальних струмів вставок при виготовленні.

2) При коротких замиканнях в трифазній мережі можливо перегорання одного з трьох запобіжників, що може призвести до виходу з ладу обладнання.

3) При перегоранні плавкої вставки потрібен час для заміни запобіжника.

## **IV. Умови вибору запобіжників.**

### **Вибір запобіжників напругою до 1000 В**

У процесі тривалої експлуатації температура нагріву запобіжника не повинна перевищувати допустимих значень.

Плавкі запобіжники напругою до 1000 В вибирають за:

- номінальною напругою  $U_{ном.зав.}$  ;
- номінальним струмом плавкої вставки  $I_{ном.вст.}$  ;
- номінальним струмом запобіжника  $I_{ном.зав.}$  .

При виборі за номінальною напругою повинно виконуватись співвідношення:

$$U_{ном.зав.} = U_{ном.уст.}$$

Плавкі запобіжники за номінальною напругою повинні захищати електроприймач (ЕП) від струмів к. з. і не відключати коло при їх вмиканні (пуску).

За захисту одиночних електродвигунів запобіжниками з малою тепловою інерцією ці вимоги виконуються при дотриманні наступних умов:

$$I_{ном.вст.} \geq I_{ном.дв.} \quad (1)$$

$$I_{ном.вст.} \geq \frac{I_{пущк.дв.}}{\alpha}, \quad (2)$$

де  $I_{ном.дв.}$ ,  $I_{пущк.дв.}$  - номінальний і пусковий струм електродвигуна,

$\alpha$  - коефіцієнт короткочасного теплового перевантаження вставки, що враховує умови пуску двигуна.

За легкого пуску( рідкі пуски і (або) час розгону не більше 10 сек)  $\alpha = 2,5$ ,

за важкого пуску – часті і (або) тривалі пуски –  $\alpha = 1,6 \div 2,0$ .

Якщо здійснюється захист лінії, що живить групу електродвигунів або змішане навантаження, вибір плавкої вставки запобіжника виконується за співвідношеннями:

$$I_{ном.вст.} \geq I_{розр.} \quad (3)$$

$$I_{ном.вст.} \geq \frac{I_{нік.}}{2,5}, \quad (4)$$

де  $I_{розр.}$ ,  $I_{нік.}$  - відповідно розрахунковий робочий і піковий струм лінії, що захищається.

Номінальний струм плавкої вставки для захисту відгалуження, що йде до ЕП без пускового струму, вибирається за його номінальним струмом із співвідношення:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{ном.ЕП.}}, \quad (5)$$

а для захисту відгалуження до зварювального апарату – із співвідношення:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{зв.}} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (6)$$

де  $I_{\text{зв.}}$  - номінальний струм зварювального трансформатора, який приймається за каталогом для повторно – короткочасного режиму; ПВ – тривалість вмикання, відн. один., або може прийматись рівним допустимому струму провідника, що живить цей апарат.

Плавкі вставки для захисту трифазних конденсаторних установок вибираються з співвідношення:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq \frac{n \cdot Q_{\text{к.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \geq \frac{Q_{\text{ном.БК}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (7)$$

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq \frac{1,6 \cdot n \cdot Q_{\text{к.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \geq \frac{1,6 \cdot Q_{\text{ном.БК}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (8)$$

де  $Q_{\text{к.}}$  - номінальна потужність одного конденсатора;  
 $n$  – їх загальна кількість в батареї( у всіх фазах);  
 $U_{\text{ном.}}$  - номінальна напруга мережі.

Плавкі вставки з великою тепловою інерцією вибираються за умовою ( 2 ) або ( 4 ).

Вибрані за приведеними співвідношеннями номінальні струми плавких вставок запобіжників повинні відповідати:

- кратностям допустимих тривалих струмів;
- кратностям струмів однофазного к. з. в мережах 0,4 кВ з глухо заземленою нейтраллю.

Якщо вибирати запобіжника за номінальним струмом, то повинна виконуватись умова:

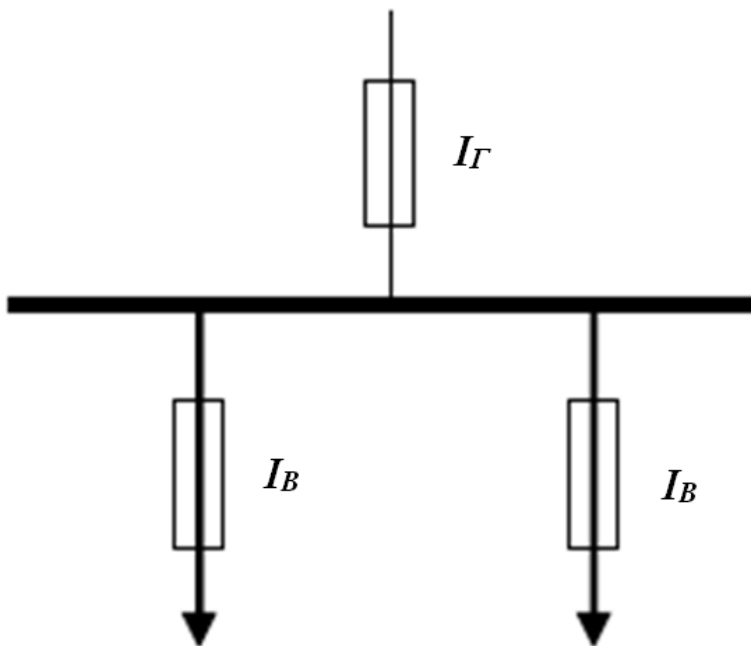
$$I_{\text{ном.зап.}} \geq I_{\text{ном.вст.}} \quad (9)$$

Якщо в мережі встановлено декілька послідовно ввімкнених запобіжників, то при к. з. в будь-якій точці мережі спрацьовувати повинен найближчий до точки к. з.

У випадку захисту мереж запобіжниками НПН і ПН2 селективність дії захисту буде виконуватись, якщо між номінальним струмом плавкої вставки, яка захищає головну ділянку мережі  $I_G$  і номінальним струмом плавкої вставки на відгалуженні до споживача  $I_B$  (рис. 7).

Селективність захисту запобіжниками типу НПН забезпечується, якщо витримуються співвідношення, наведені в таблиці 1.





**Рисунок 7 – Схема захисту запобіжниками.**

**Таблиця 1 – Співвідношення між струмами, які забезпечують селективність захисту запобіжниками НПН.**

$I_{к.з.} / I_B$	50	100	200
$I_G / I_B$	2,0	2,5	3,3

*Примітка:*  $I_{к.з.}$  - струм к. з. на початку ділянки мережі, що захищається.

Співвідношення між номінальними струмами плавких вставок  $I_G$  і  $I_B$  для запобіжників типу ПН2, які забезпечують надійну селективність наведені в таблиці 2.

Запобіжники характеризуються також граничним струмом вимкнення за даної напруги.

Граничний струм – це найбільше діюче значення періодичної складової струму к. з. в будь якій фазі в перший період протікання струму.

Найбільша здатність до відключення запобіжників ПН2 за напруги 380 В приведена в таблиці 3.

Запобіжники НПН2-60 з номінальним струмом до 100 А мають найбільший струм відключення до 60 кА.

**Таблиця 2 – Номінальні струми послідовно ввімкнених запобіжників ПН2, які забезпечують надійну селективність захисту.**

Номінальний струм меншої плавкої вставки $I_{в.}$ , А	Номінальний струм більшої плавкої вставки $I_{г.}$ , А при співвідношенні $I_{к.з.} / I_{в.}$			
	10	20	50	100 і більше
30	40	50	80	120
40	50	60	100	120
50	60	80	120	120
60	80	100	120	120
80	100	120	120	150
100	120	120	150	150
120	150	150	250	250
150	200	200	250	250
200	250	250	300	300
250	300	300	400	Більш 600
300	400	400	Більш 600	-

**Таблиця 3 – Співвідношення між струмами, які забезпечують селективність захисту запобіжниками НПН.**

Тип запобіжника	Струм найбільшої здатності до відключення, кА
ПН2-100	100
ПН2-250	100
ПН2-400	40
ПН2-600	25

### **Вибір запобіжників напругою понад 1000 В**

Високовольтні запобіжники призначені для захисту силових кіл і електрообладнання в аварійних режимах від струмів короткого замикання і перевантаження.

**Їх вибирають за наступними умовами:**

– *за конструкцією і родом установки;*

Тут необхідно враховувати їх розташування (внутрішнє або зовнішнє) і призначення (для захисту трансформаторів або інших апаратів), рід дугогасного середовища (кварцові, вихлопні і т. д.);

– *за номінальною напругою запобіжника:*

$$U_p = U_{ном.}; \quad (10)$$

де  $U_{ном.}$  – номінальна напруга запобіжника, кВ;

$U_p$  – робоча напруга установки, кВ;

– *за номінальним струмом запобіжника:*

$$I_{ном.в} \leq I_{ном.}, \quad (11)$$

де  $I_{ном.в}$  – номінальний струм плавкої вставки, А (запобіжники, призначені для захисту трансформаторів напруги, за номінальним струмом плавкої вставки не вибирають);

$I_{ном.}$  - номінальний струм запобіжника, яким є найбільший з усіх номінальних струмів плавких вставок, що застосовуються технічно для обраного запобіжника, А;

– за номінальним струмом плавкої вставки  
для захисту лінії:

$$I_{ном.вст.} = K_{н.} \cdot I_{р.макс} \quad (12)$$

для захисту трансформатора:

$$I_{ном.вст.} = K_{н.} \cdot I_{н.тр}, \quad (13)$$

де  $I_{р.макс}$  – максимальний робочий струм кола, що захищаємо, А;

$I_{н.тр}$  – номінальний струм трансформатора, що захищаємо, А;

$K_{н.}$  – коефіцієнт надійності, що запобігає перегоранню плавкої вставки при короткочасних перевантаженнях, для захисту лінії і захисту трансформаторів потужністю до 160 кВА включно  $K_{н.} = 2 \div 3$ ,  
понад 160 кВА  $K_{н.} = 1,4 \div 2$ ;

– за найбільшим струмом відключення:

$$I_{к.з}^{(3)} \leq I_{ном.відкл.}, \quad (14)$$

де  $I_{к.з}^{(3)}$  – струм трифазного короткого замикання в колі, де встановлюється запобіжник, А;

$I_{ном.відкл.}$  – періодична складова граничного струму вимкнення запобіжника, А.

Слід відмітити, що апарати, які захищаються струмообмежуючими запобіжниками типу ПН, ПР, ПК, не потрібно перевіряти на динамічну і термічну стійкість.

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника вибирається за умовами захисту, а також за умовами селективності.

Вибрані за табл. 6 плавкі вставки необхідно перевірити на селективність захисту з боку 0,4 кВ. Необхідно забезпечити селективність захисту з боку високої напруги з запобіжниками або автоматичними вимикачами вводу 0,4 кВ або, принаймні, з відхідними лініями 0,4 кВ.

Перевірка вставки на селективність з апаратами захисту вводу 0,4 кВ виконується в загальному випадку зіставленням їх характеристик на мапі селективності захистів.

Для трансформаторів 10 / 0,4 кВ мапу селективності можна не будувати, а виконати наступні умови.

Селективність буде забезпечена, якщо:

$$t_g \geq \frac{t_{c.z.} + \Delta t}{K_n}, \quad (15)$$

де  $t_g$  - час плавлення плавкої вставки запобіжника при к. з. на стороні 0,4 кВ, с;

$t_{c. з.}$  - повний час спрацювання захисту з боку 0,4 кВ, з якого здійснюється узгодження запобіжника,

$t_{c. з.} = 0,02 \pm 0,01$  с - для електромагнітних розчіплювачів автоматів з урахуванням розкиду спрацювання,  $t_{c. з.}$  для запобіжників визначається за ампер-секундною характеристикою;

$\Delta t$  - мінімальний ступінь селективності, приймається для автоматів - 0,3 с, для запобіжників - 0,6 с;

$K_n$  - коефіцієнт приведення каталожного часу плавлення плавкої вставки і часу її розігріву,  $K_n$  приймається рівним 0,9.

Якщо обрана плавка вставка не забезпечує необхідний  $t_g$ , то слід прийняти плавку вставку на більший номінальний струм, за якого необхідний час плавлення буде забезпечено, але в цьому випадку необхідно зробити перевірку за допустимим часом протікання струму к. з.  $t_k$  в трансформаторі за умовою його термічної стійкості.

Перевірка здійснюється за умовою:

$$t_g \leq t_k \leq 5 \quad (16)$$

Допустимий час протікання струму к. з. в трансформаторі визначається:

$$t_k = \frac{900 \cdot I_{ном.т.}^2}{I_{\infty}^2} = \frac{900}{k^2}, \quad (17)$$

де  $k$  - відношення усталеного струму к. з. до номінального струму трансформатора.

У всіх випадках  $t_k$  не повинно перевищувати 5 с.

Вибір плавких вставок запобіжників на стороні 35-110 кВ трансформаторних підстанцій 35/10, 110/10 або 35 / 0,4 кВ здійснюється аналогічно, але номінальний струм плавкої вставки вибирають відповідно до директивних матеріалів з урахуванням відбудови від кидків намагнічувального струму трансформатора за виразом  $I_{вст.н} = 2I_{н.тп}$ . Потім перевіряють вставку на селективність роботи з найближчим захистом з низької сторони:

$$I_{к.розр.} = \frac{K_n}{K_T \cdot I_{\infty.н}} 2 \cdot I_{н.тп}, \quad (18)$$

де  $I_{к.розр.}$  – розрахунковий струм на стороні вищої напруги трансформатора при к. з. на стороні нижчої напруги;

$K_n$  – коефіцієнт надійності, що враховує діапазон ампер-секундних характеристик запобіжників і необхідний запас;

$K_m$  – коефіцієнт трансформації трансформатора;

$I_{\infty.н}$  – усталений струм к. з. на стороні нижчої напруги трансформатора.

За струмом  $I_{к.розр.}$  на ампер-секундній характеристиці запобіжника визначають час перегорання плавкої вставки  $t_e$ .

Потім порівнюють цей час з часом спрацювання захисту з низькою сторони трансформатора  $t_{с.з.}$

Якщо ступінь селективності  $\Delta t = t_e - t_{с.з.} < 0,6$ , то вибирають плавку вставку на більший номінальний струм.

## V. Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись з запобіжниками ПК-10, ПН-2 на полігоні.
2. Згідно варіанту(табл. 4), за прикладом, провести вибір запобіжників за вихідними даними для кожної бригади та занести до таблиці 5.
3. Зробити висновки по роботі.

П р и к л а д розрахунку.

Запобіжники типу ПК-10 є струмообмежуючими , тому їх не перевіряють на електродинамічну і термічну стійкість. В якості номінального робочого струму трансформатора приймаємо розрахунковий робочий максимальний струм.

Номінальний струм плавкої вставки запобіжників ПК-10 для захисту трансформаторів 10/0,4 кВ вибирають за наступною умовою:

$$I_{вст.н} = 2I_{н.тр} ; \quad I_{вст.н} = 2 \cdot 9,238 = 18,476 \text{ A}$$

Округляємо до найближчого стандартного значення

$$I_{вст.н} = 20 \text{ A.}$$

Дані з вибору запобіжника заносимо до таблиці 5.

**Таблиця 4 – Вихідні дані для вибору запобіжника за варіантом.**

№ бригади	Потужність трансформатора, $S_{тр}$ , кВА	Розрахунковий струм к. з., кА	Напруга мережі, кВ
1	63	2,1	6
2	100	2.9	10
3	160	3,8	10
4	250	4.2	6
5	400	5,8	10
6	630	7,4	10
7	40	1.8	6
8	160	3,1	10

**Таблиця 5 – Підсумкова таблиця вибору запобіжника.**

Розрахункові дані	Паспортні дані запобіжника ПКТ
$U_{ном} = 10кВ$	$U_{ном} = 10кВ$
$I_{ном} = I_{р.макс.} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ $I_{ном} = \frac{160}{1,732 \cdot 10} = 9,238 \text{ А}$ $I_{вст.н} = 2 \cdot 9,238 = 18,476 \text{ А}$	$I_{ном} = 20 \text{ А}$
$I_{к} = 5,6 \text{ кА}$	$I_{відкл.} = 31,5 \text{ кА}$
$S_{к} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{к}$ $S_{\varrho} = 1,732 \cdot 10 \cdot 5,6 =$ $= 96,992 \text{ в} \hat{\text{А}} \cdot \hat{\text{А}}$	$S_{відкл.} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{відкл.}$ $S_{\varrho^{відкл.}} = 1,732 \cdot 10 \cdot 31,5 =$ $= 545,58 \text{ в} \hat{\text{А}} \cdot \hat{\text{А}}$

За розрахунковими даними вибираємо запобіжник типу ПКТ-101-10-10-31,5 УЗ.

**Таблиця 6 – Основні технічні дані запобіжників.**

Тип	$U_{ном},$ кВ	$U_{max},$ кВ	$I_{ном.зап.},$ кА	$I_{ном.відкл.},$ кА
ПКТ101-6-2-40УЗ	6	7,3	2	40
ПКТ101-6-3,2-40УЗ			3,2	
ПКТ101-6-5-40УЗ			5	
ПКТ10-6-8-40УЗ1			8	
ПКТ101-6-10-40УЗ			10	
ПКТ101-6-16-40УЗ			16	
ПКТ101-6-20-40УЗ			20	
ПКТ101-6-31,5-40УЗ			31,5	
ПКТ101-10-2-31,5УЗ	10	12	2	31,5
ПКТ101-10-3,2-31,5УЗ			3,2	
ПКТ101-10-5-31,5УЗ			5	
ПКТ101-10-8-31,5УЗ			8	
ПКТ101-10-10-31,5УЗ			10	
ПКТ101-10-16-31,5УЗ			16	
ПКТ101-10-20-31,5УЗ			20	



ПКТ101-31,5-12,5УЗ			31,5	12,5
ПКТ102-6-31,5-31,5УЗ	6	7,2		31,5
ПКТ102-6-40-31,5УЗ			40	
ПКТ102-6-50-31,5УЗ			50	
ПКТ102-6-80-20УЗ			80	20
ПКТ102-10-31,5-31,5УЗ	10	12	31,5	31,5
ПКТ102-10-40-31,5УЗ			40	
ПКТ102-10-40-12,5УЗ			50	12,5
ПКТ103-6-80-31,5УЗ	6	7,2	80	31,5
ПКТ103-6-100-31,5УЗ			100	
ПКТ103-6-160-20УЗ			160	
ПКТ103-10-50-31,5УЗ	10	12	50	31,5
ПКТ103-10-80-20УЗ			80	20
ПКТ103-10-100-12,5УЗ			100	12,5
ПКТ103-10-100-12,5УЗ	7	7,2	160	31,5
ПКТ103-10-100-12,5УЗ			200	
ПКТ104-10-200-12,5УЗ			315	
ПКТ104-10-100-12,5УЗ	10	12	100	31,5
ПКТ104-10-160-12,5УЗ			160	20
ПКТ104-10-200-12,5УЗ			200	12,5

### Запитання для контролю:

1. Яке призначення запобіжників?
2. Накреслити часо-струмову характеристику запобіжника.
3. Що є граничним струмом запобіжника?
4. З яких металів виготовляються плавкі вставки?
5. Пояснити явище металургійного ефекту, яке використовується в запобіжниках.
6. Що характеризує граничний струм відключення запобіжника?
7. Яким чином відбувається гасіння електричної дуги в запобіжниках типу ПР-2 і ПН-2?
8. З якою метою в запобіжниках плавкі вставки мають звужені ділянки?
9. Пояснити струмообмежуючу дію запобіжника.
10. Як візуально можна визначити спрацювання запобіжника ПК?

11. За якими умовами вибираються запобіжники?
12. З якою метою на плавкі вставки з тугоплавких матеріалів наплавляються олов'яні кульки?
13. Чому плавкі вставки запобіжників ПКН виконані з константану?

## Література

1. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Н. М. Зуль – М.: Агропромиздат, 1990 – 495 с.
2. Грачёв А. С. Электрические аппараты: руководство по решению задач проектирования электрических аппаратов / А. С. Грачёв. – Мар. гос. ун-т; Йошкар-Ола, 2009. – 111 с.
3. Кабышев А. В., Обухов С. Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие / А. В. Кабышев, Обухов С. Г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
4. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин – К.: Аграрна освіта, 2011- 448 с.
5. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. / В. И. Идельчик — М.: Энергоатомиздат, 1989, — 592 с: ил.
6. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования/ Л. Д. Рожкова, Л. К. Корнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.- 448 с.
7. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Электроснабжение» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Создание группового проектного обучения студентов СФУ, как одного из основных элементов инновационной образовательной программы в рамках приоритетного образовательного проекта «Образование» на базе учебно-научно-производственного комплекса», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Навчальне видання

## ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи «Вивчення будови та принципів вибору  
запобіжників»

Автори-укладачі:  
**САВЧЕНКО** Олександр Анатолійович  
**ПОПАДЧЕНКО** Світлана Анатоліївна

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.  
Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44







