

Міністерство освіти і науки України  
Національний гірничий університет

Кафедра систем  
електропостачання

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи СРТ-2  
**"ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ, ВАРІАНТІВ РОЗТАШУВАННЯ ТА  
КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ  
ПІДСТАНЦІЙ"**

для студентів спеціальностей  
7.090603, 7.092203, 7.00008

Затверджено на засіданні кафедри  
систем електропостачання  
Протокол № від 2006 р.

Дніпропетровськ  
2006

Міністерство освіти і науки України  
Національний гірничий університет

Кафедра систем  
електропостачання

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи СРТ-2  
***"ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ, ВАРІАНТІВ РОЗТАШУВАННЯ ТА  
КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ  
ПІДСТАНЦІЙ"***

для студентів спеціальностей  
7.090603, 7.092203, 7.00008

Дніпропетровськ  
2006

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи СПТ-1 "Вивчення електричних схем, варіантів розташування та конструктивного виконання перетворювальних підстанцій" для студентів спеціальностей 7.090603, 7.092203, 7.00008 / Упорядн.: Жиров Л.В. , Ковальов О.Р. , Дибрін С.В. - Дніпропетровськ: НГУ, 2006. - 17 с.

Упорядники:

Л.В. Жиров, канд.техн.наук, доцент  
О.Р. Ковальов, старший викладач  
С.В. Дибрін, аспірант

Відповідальний за випуск Заїка В.Т., д-р. техн. наук, професор

## З М І С Т

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	4
<b>Схеми живлення     підстанцій.....</b>	4
<b>Розташування і конструктивні особливості перетворювальних     підстанцій.....</b>	9
...	9
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ.....	16
ЛІТЕРАТУРА.....	16
...	16

**Мета** - вивчити електричні схеми, варіанти розташування та конструктивного виконання перетворювальних підстанцій.

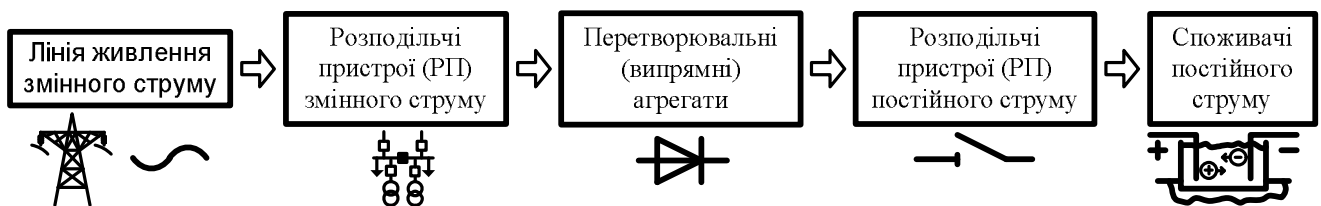
## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Перетворювальні підстанції призначені для перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму або енергії постійного струму в енергію змінного струму за допомогою статичних перетворювачів. Такі підстанції споруджують для живлення промислових споживачів постійного струму, як наприклад:

- а) електролізних установок кольорової металургії і хімічної промисловості;
- б) дугових вакуумних і графітіровочних електропечей;
- в) установок для електрохімічної обробки металів і гальваностегії;
- г) електричної тяги (наприклад електропривод залізничного транспорту);
- д) цехових мереж постійного струму, від яких живляться електроприводи, що не вимагають регулювання підведеної до них напруги,.

а також для передачі енергії постійним струмом високої напруги.

**Схеми живлення підстанцій.** У складі перетворювальної підстанції є розподільчі пристрої (РП) змінного струму, перетворювальні агрегати і розподільчі пристрої постійного струму.

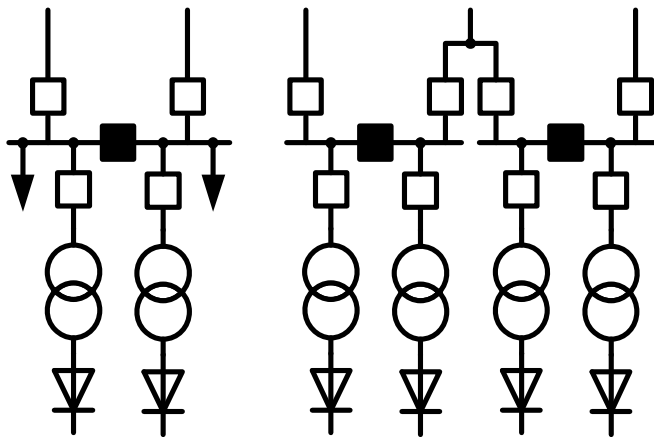


Крім агрегатів і трансформаторів власних потреб перетворювальної підстанції від РП змінного струму нерідко живляться й інші споживачі електроенергії промислового підприємства.

Перетворювальні підстанції, що живлять електролізні установки з виробництва алюмінію, магнію та хлору, характеризуються значною кількістю паралельно працюючих випрямних агрегатів і великою потужністю. Для інших виробництв, що мають електролізери на менший струм, характерною є робота окремих агрегатів на кожну електролізну серію. Для дугових вакуумних печей застосовується поодинокі роботи випрямного агрегату на піч, а для графітних печей – паралельна робота декількох агрегатів на одну піч.

При невеликій кількості (два чотири) агрегатів РП змінного струму підстанції зазвичай мають одиночну секціоновану систему шин (рис.1).

При великій кількості перетворювальних агрегатів та наявності споживачів I категорії перевагу віддають РП з подвійною системою шин (рис. 2 і 3).



**Рис. 1.** Схеми живлення перетворювальних підстанцій середньої та малої потужності (одиначна секціонована система шин)

Застосування одиночної секціонованої системи шин можливе при будь-якій кількості агрегатів, але при цьому кількість агрегатів, що приєднуються до однієї секції, для установок I категорії не повинне перевищувати кількість резервних агрегатів підстанції. Наприклад, на РП (рис. 1) з однією секцією та двома агрегатами (ліворуч) кількість резервних агрегатів – не менше двох, для РП з двома секціями та чотирма агрегатами (праворуч) – також не менше двох, оскільки до

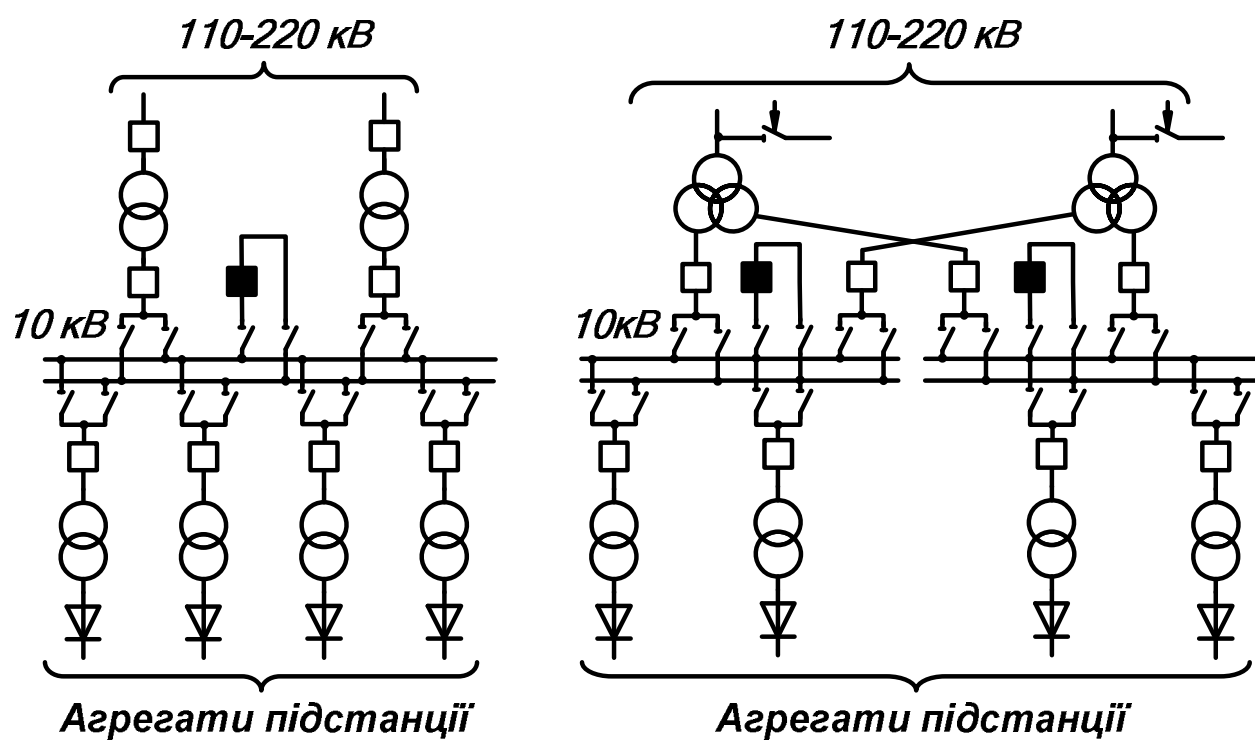
кожної секції приєднано по два агрегати. У протилежному випадку при виході з ладу однієї секції нормальне електропостачання споживачів зберегти не вдасться.

Зазвичай кількість резервних агрегатів на підстанції не перевищує одного, максимум – двох. Таким чином для забезпечення умов резервування при великій кількості агрегатів буде потрібна значна кількість секцій і потужних секційних вимикачів.

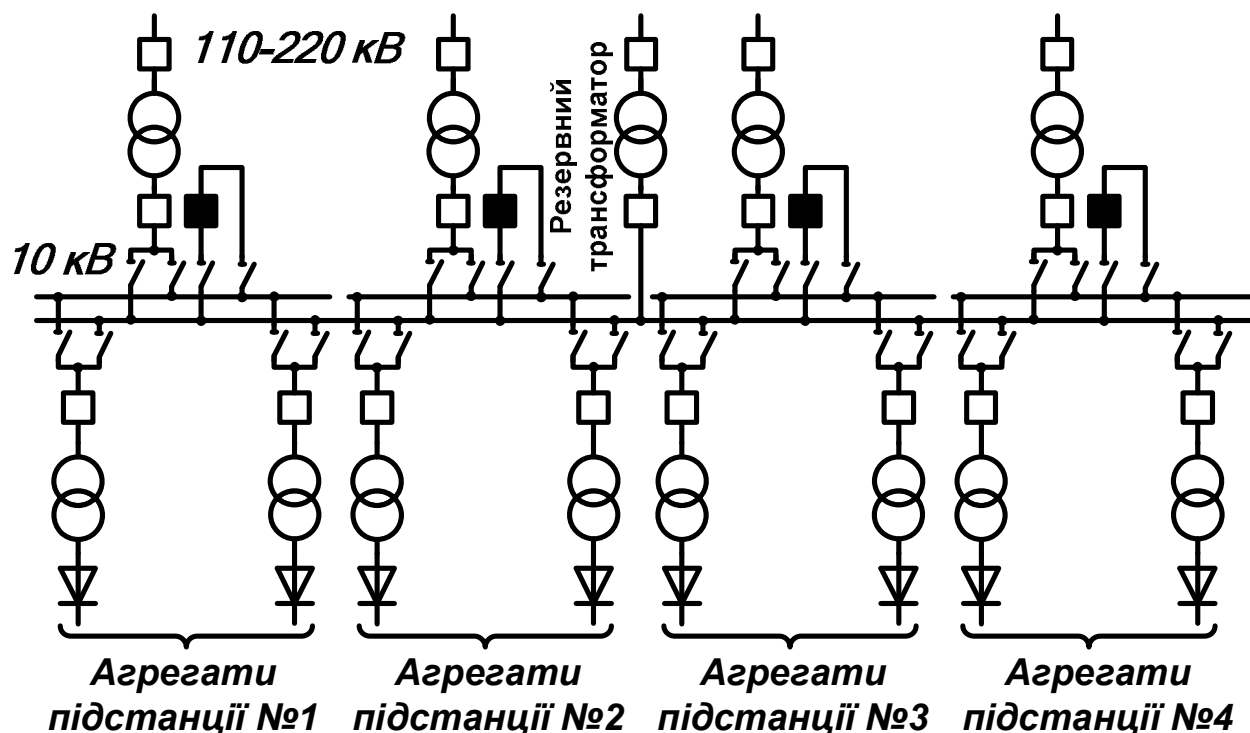
Істотним фактором на користь подвійної системи шин можуть виявитися вимоги пускового режиму. Для більшості електролізних установок у пусковому режимі потрібне регулювання випрямленої напруги у значних межах. Якщо випрямляючі агрегати не можуть забезпечити необхідного діапазону, то для додаткового зниження напруги тимчасово (на пусковий період) встановлюють понижуючий автотрансформатор.

При двох системах збірних шин на одну з них через автотрансформатор подається знижена напруга, необхідна для перетворювальних агрегатів, а на іншій системі підтримується нормальна напруга, необхідна для інших споживачів електроенергії.

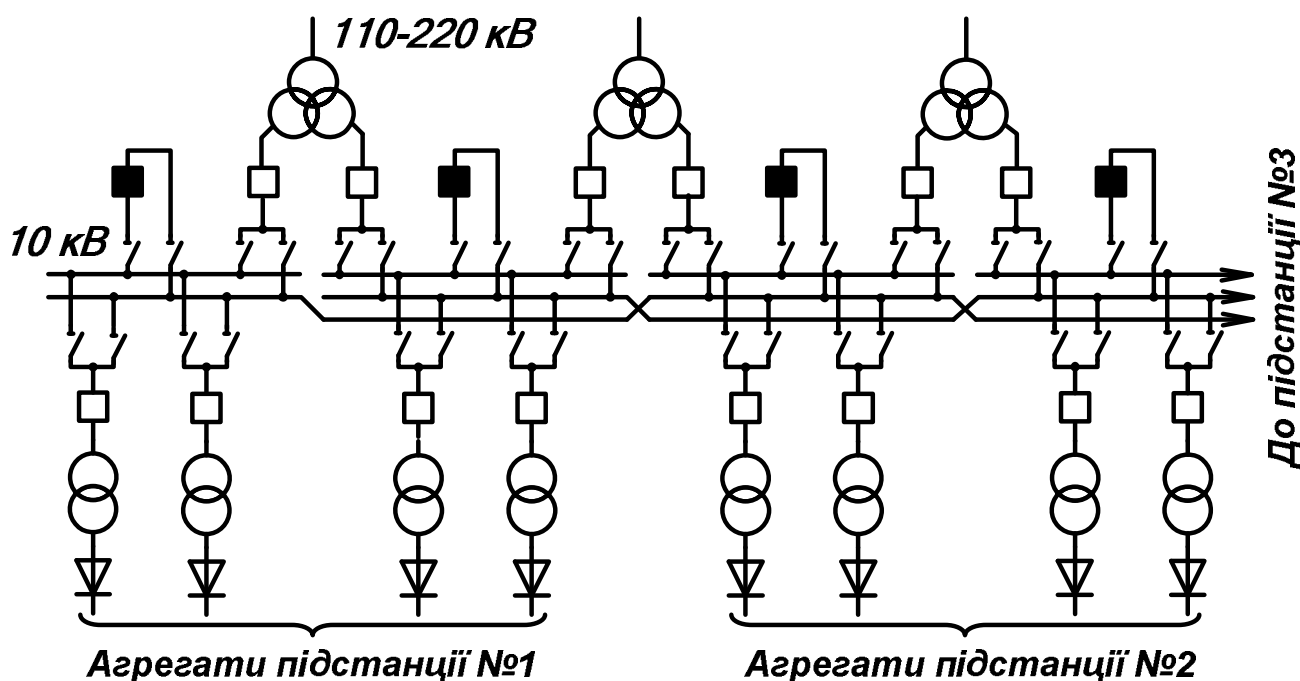
Перетворювальні підстанції великої потужності, наприклад алюмінієвих заводів, зазвичай одержують живлення від понижуючих трансформаторів 220/10 кВ потужністю кожного 180 - 200 МВА, що мають на стороні 10 кВ розщеплені обмотки. Для зменшення струмів КЗ на шинах 10 кВ застосовують роздільну роботу розщеплених обмоток (рис. 2 – праворуч). Щоб зберегти роздільну роботу обмоток і при живленні від резервного трансформатора, доводиться ускладнювати систему обхідних шин, як показано на рис. 4.



**Рис. 2.** Схеми живлення перетворювальних підстанцій великої потужності від мережі 110-220 кВ (подвійна система шин)



**Рис. 3.** Схеми живлення декількох перетворювальних підстанцій від мереж 110-220 кВ (подвійна система шин)

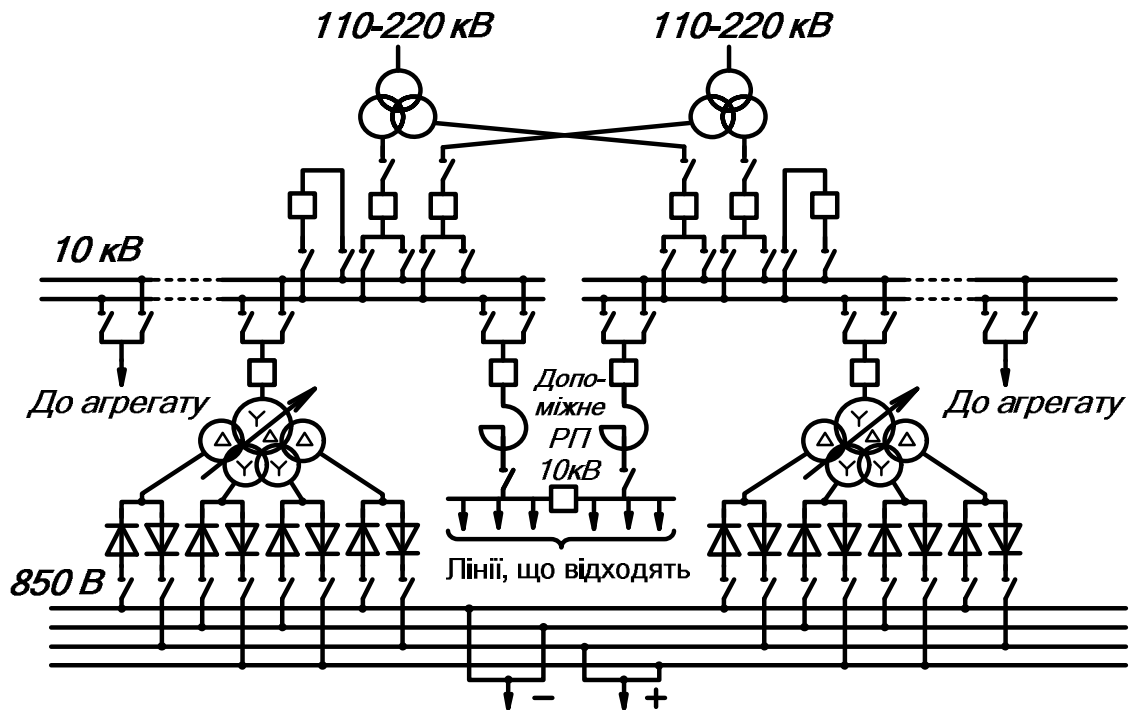


**Рис. 4.** Схеми живлення декількох потужних перетворювальних підстанцій від мережі 110-220 кВ через понижуючі трансформатори з розщепленими вторинними обмотками





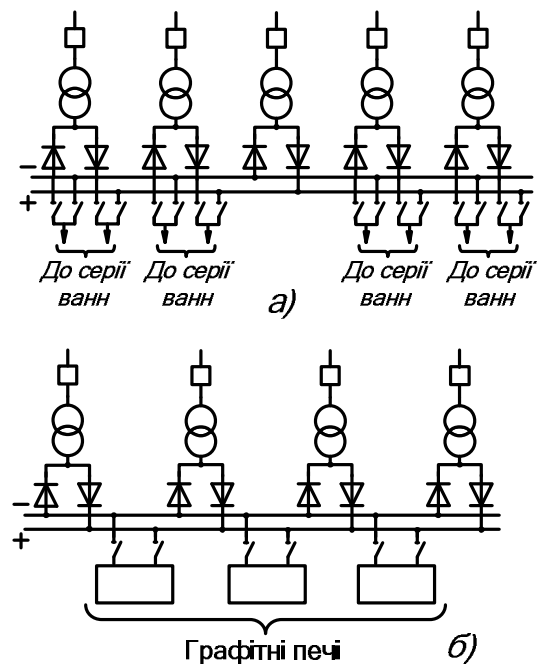
Приклад повної схеми головних ланцюгів потужної перетворювальної підстанції приведено на рис. 5.



**Рис. 5.** Схема головних ланцюгів перетворювальної підстанції з напівпровідниковими агрегатами на 25 кА, 850 В

На цій підстанції крім головного РП 10 кВ із подвійною системою шин є допоміжне РП 10 кВ з одиночною секціонованою системою шин, що одержує живлення від головного РП 10 кВ через реактивовані зв'язки. Допоміжне РП 10 кВ виконується з комплектних камер КРП (комплектні розподільчі пристрої) і служить для живлення ліній невеликої потужності. Підключати ці лінії до головного РП 10 кВ, що має велику потужність КЗ і вимагає застосування дорогої комутаційної апаратури, економічно недоцільно.

На підстанції (рис. 5) застосовано агрегати, що забезпечують 12-фазний режим випрямлення, у яких два випрямляча живляться від вторинних обмоток трансформатора, з'єднаних у зірку, а два інших – від обмоток, з'єднаних у трикутник. Оскільки миттєві значення випрямленої напруги випрямлячів з різними схемами живлення не однакові, між ними виникає зрівнювальний змінний струм шестикратної частоти, що ускладнює роботу випрямлячів і викликає додаткові втрати енергії. Для зниження зрівнювальних струмів кожен полюс збірних струмопроводів розщеплено на дві



**Рис. 6.** Схеми перетворювальних підстанцій

графітні печі. Оскільки миттєві значення випрямленої напруги випрямлячів з різними схемами живлення не однакові, між ними виникає зрівнювальний змінний струм шестикратної частоти, що ускладнює роботу випрямлячів і викликає додаткові втрати енергії. Для зниження зрівнювальних струмів кожен полюс збірних струмопроводів розщеплено на дві

віддалені одна від одної гілки, до кожної з яких приєднано випрямлячі з однаковою схемою живлення. При такому рішенні зрівнювальний струм замикається в контурі, що має велику довжину і реактивність.

Якщо перетворювальна підстанція живить кілька електролізних установок малої потужності, то їх резервування від резервного агрегату виконується за схемою рис. 6, а.

На перетворювальних підстанціях, що живлять графітні печі, застосовується паралельна робота декількох агрегатів на одну піч. Оскільки печі працюють з великими перервами, обумовленими технологією виробництва, установка, як правило, складається з декількох печей, що підключаються по черзі до збірних шин випрямленого струму (рис. 6, б).

### Розташування і конструктивні особливості перетворювальних підстанцій.

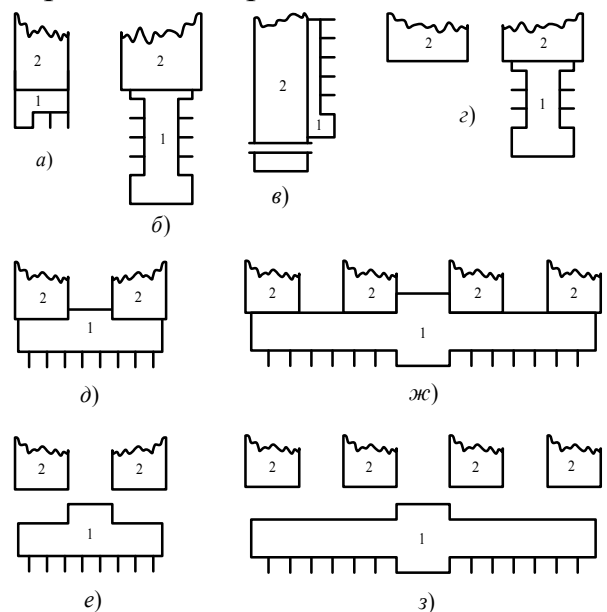
Перетворювальні підстанції та окремі перетворювальні агрегати повинні бути по можливості максимально наближені до установок, що живляться. Найбільш розповсюджені приклади розташування перетворювальних підстанцій відносно обслуговуваних ними електролізних корпусів, приведено на рис. 7.

Розміщення за рис. 7, а застосовується при малому числі випрямних агрегатів; за рис. 7, б - при великому числі агрегатів; за рис. 7, в - при малому і великому числі агрегатів. При живленні перетворювальною підстанцією двох електролізних корпусів застосовуються варіанти, приведені на рис. 7, г, д і е. Розміщення за рис. 7, д забезпечує найменшу довжину збірних струмопроводів випрямленого струму і найменшу площу генплану підприємства.

Недоліками такого розміщення є погіршення провітрювання простору між електролізними корпусами та, як наслідок, їх велика загазованість. Розміщення за рис. 7, г і е забезпечує краще провітрювання, але викликає подовження струмопроводів і збільшення втрат у них. Трохи зростає і площа генплану підприємства.

Варіант рис. 7, е створює можливість природного освітлення більшості приміщень, а також кращі умови для розміщення вентиляційних установок.

Іноді дві перетворювальні підстанції, кожна з яких обслуговує серію електролізних ванн, розташованих у двох електролізних корпусах, розміщують в одному будинку, як показано на рис. 7, ж та з. Здешевлення будівель у даному випадку виходить за рахунок скорочення периметра стін, використання для обох



**Рис. 7. Розташування перетворювальних підстанцій відносно електролізних корпусів: 1 - перетворювальна підстанція; 2 - електролізний корпус.**

підстанцій одних і тих же допоміжних приміщень (без збільшення їхнього розміру), зменшення числа сходів. Зниження експлуатаційних витрат досягається за рахунок скорочення персоналу.

При резервуванні декількох підстанцій від одного джерела за допомогою струмопровода переважніші варіанти розміщення за рис. 7, д, е, ж, з, тому що при цьому сумарна довжина збірних шин і сполучних струмопроводів 10 кВ виходить найменшою. Ці ж варіанти розміщення є більш зручними у відношенні транспортування устаткування.

На рис. 8 і 9 представлені плани першого і другого поверхів та розріз по випрямних агрегатах потужної кремнієвої випрямної підстанції, *прибудованої* до торця електролізного корпусу.

На рис. 10 і 11 показані план другого поверху і розріз по підстанції, розміщеної у *відриві* від електролізних корпусів, перпендикулярно подовжнім осям цих корпусів. В обох випадках на третьому поверсі розміщене головне РП 10 кВ із двома системами збірних шин, на другому поверсі – випрямні блоки і щити їхнього керування, а на першому – РП випрямленого струму. Трансформатори випрямних агрегатів установлені на відкритому повітрі. Характерною рисою обох компонувань є застосування РП 10 кВ розосередженого типу. Для такого влаштування збірні шини 10 кВ прокладають вздовж усього будинку підстанції, а камери масляних вимикачів випрямних агрегатів розташовують по осях симетрії комірок цих агрегатів.

Розподільний пристрій 10 кВ розосередженого типу дозволяє здійснити зв'язок випрямних агрегатів з РП 10 кВ шинами замість кабелів і тим самим підвищити надійність живлення агрегатів при одночасному зниженні капітальних витрат. При такому РП легко подавати електроенергію декільком підстанціям від одного резервного джерела шинними перемичками між збірними шинами 10 кВ сусідніх підстанцій.

Розріз КПП з агрегатами сполученої конструкції приведений на рис. 12.

На потужних перетворювальних підстанціях, що живлять електролізні установки, номінальний струм яких вимірюється десятками, а іноді і сотнями тисяч ампер, є сильні магнітні поля, що нерідко впливають на роботу реле і вимірювальних приладів, викликаючи неприпустимі похибки.

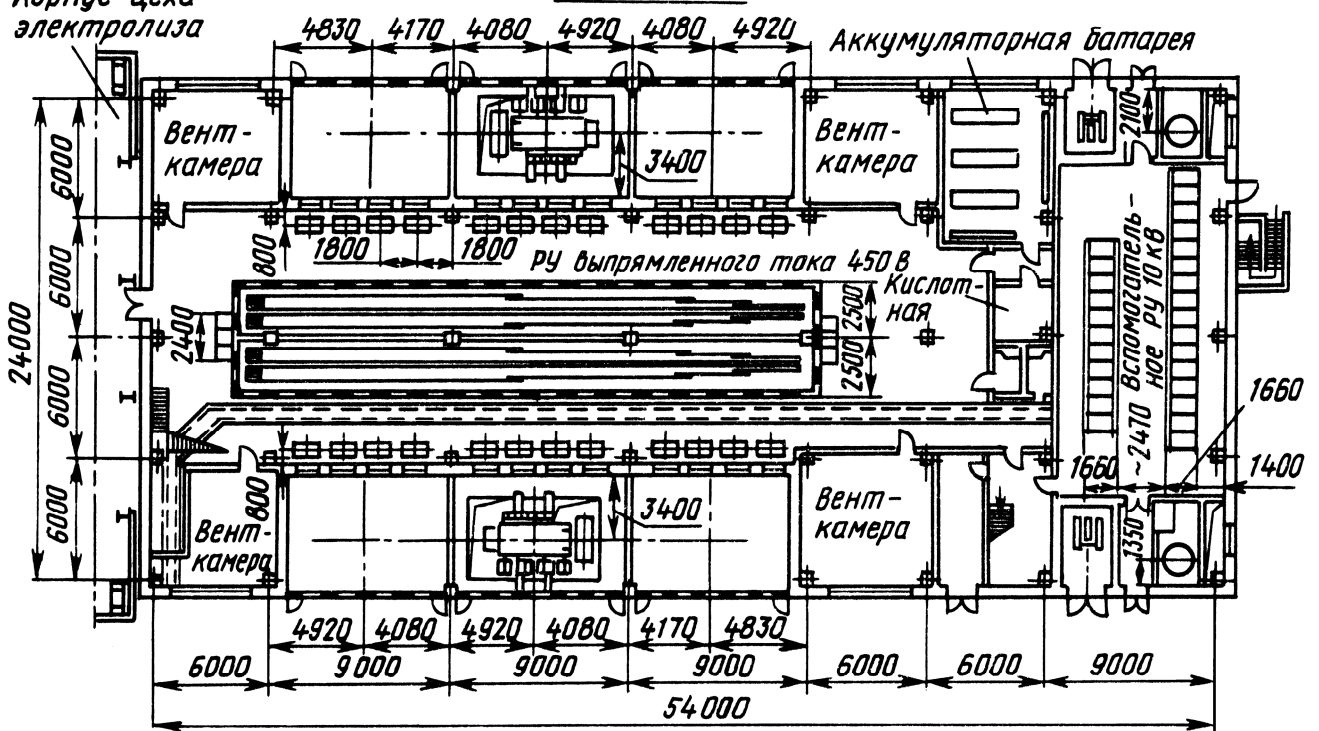
Напруженість магнітного поля (А/м) прямої ділянки струмопровода:

$$H = \frac{I}{4\pi R}(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2),$$

де:  $I$  - струм у струмопроводі, А;  $R$  — довжина перпендикуляра, опущеного з розглядаємої точки на напрямок прямої ділянки струмопровода, м;  $\alpha_1$  - кут між перпендикуляром і прямою, що з'єднує точку з дальнім кінцем прямої ділянки струмопровода;  $\alpha_2$  - кут між перпендикуляром і прямою, що з'єднує точку з ближнім кінцем тієї ж ділянки.

Корпус цеха  
электролиза

План I этажа



План II этажа

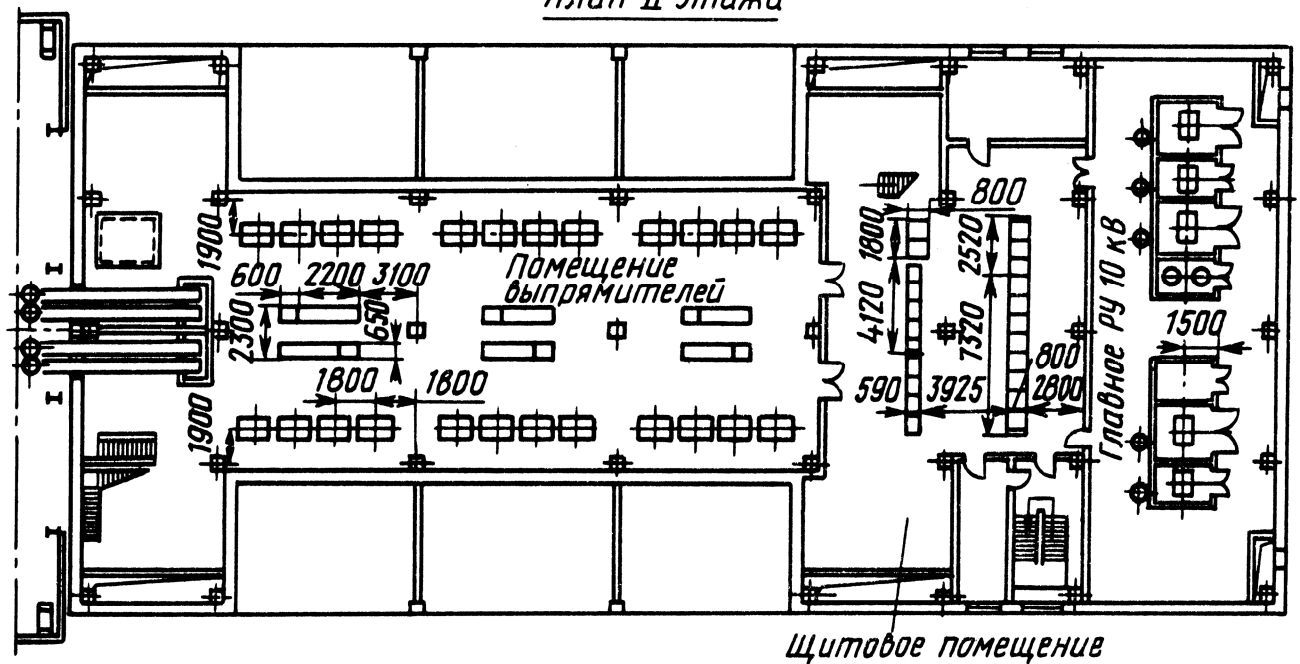
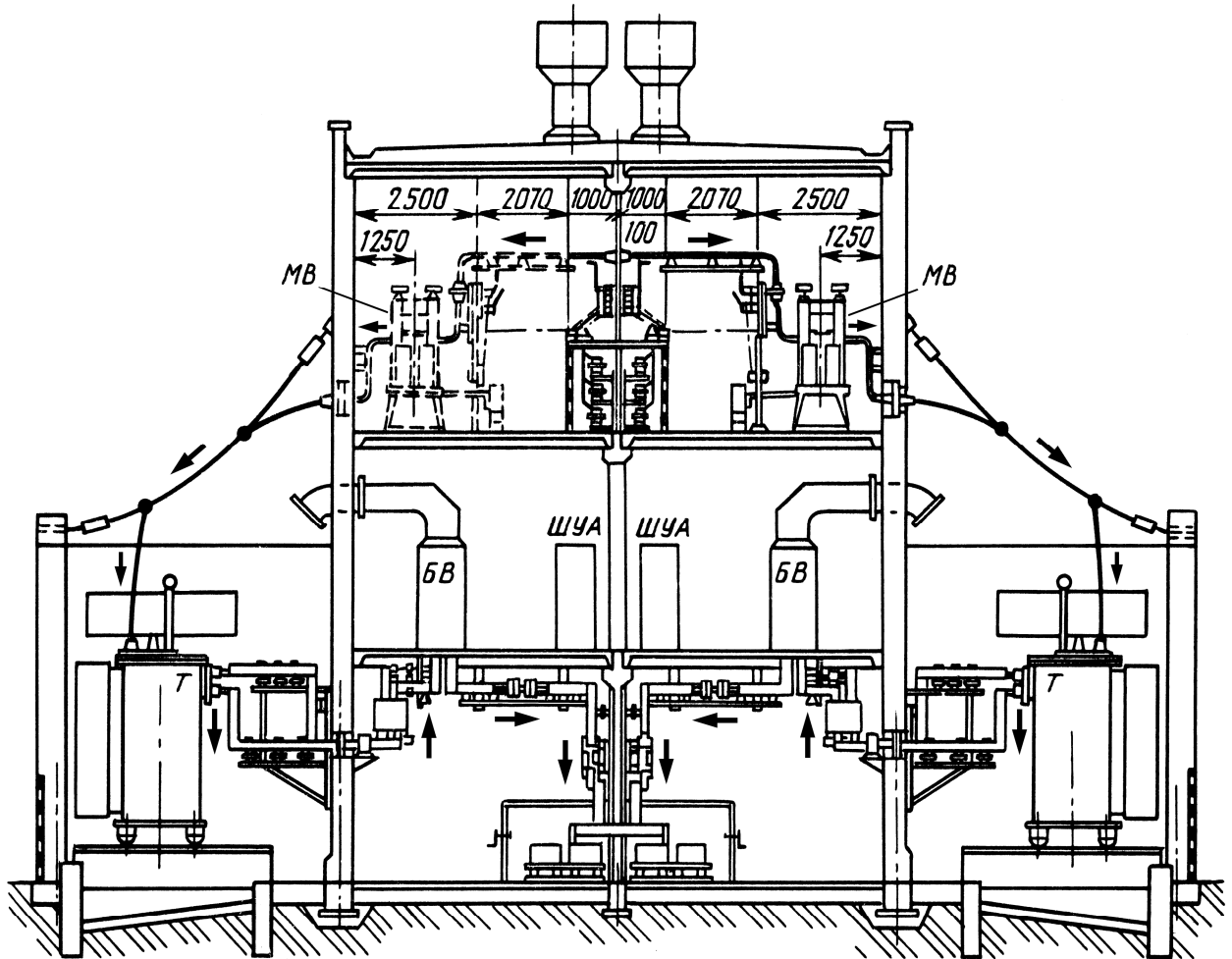


Рис. 8. План I та II поверхів потужної кремнієвої випрямної підстанції, прибудованої до торця електролізного корпусу



**Рис. 9.** Розріз по випрямних агрегатах потужної кремнієвої випрямної підстанції, прибудованої до торця електролізного корпусу: БВ – блок випрямний; ШУА – шафа управління агрегатом, Т – трансформатор; МВ – масляний вимикач

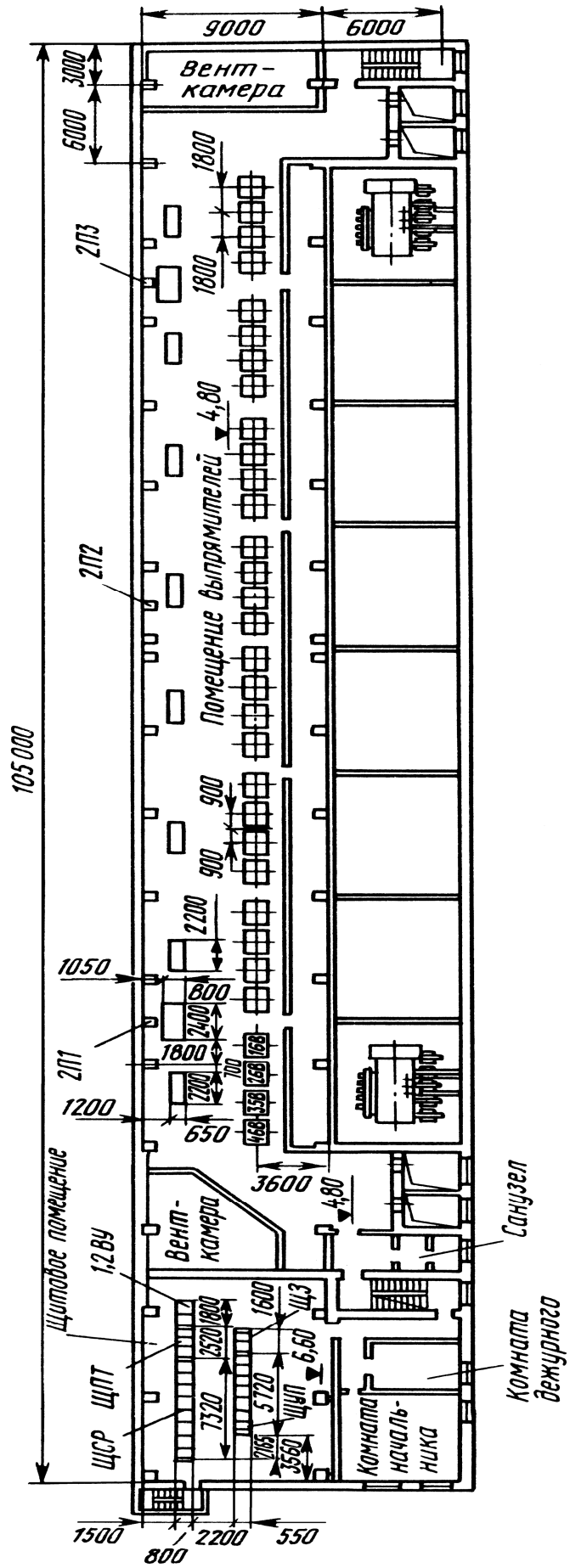
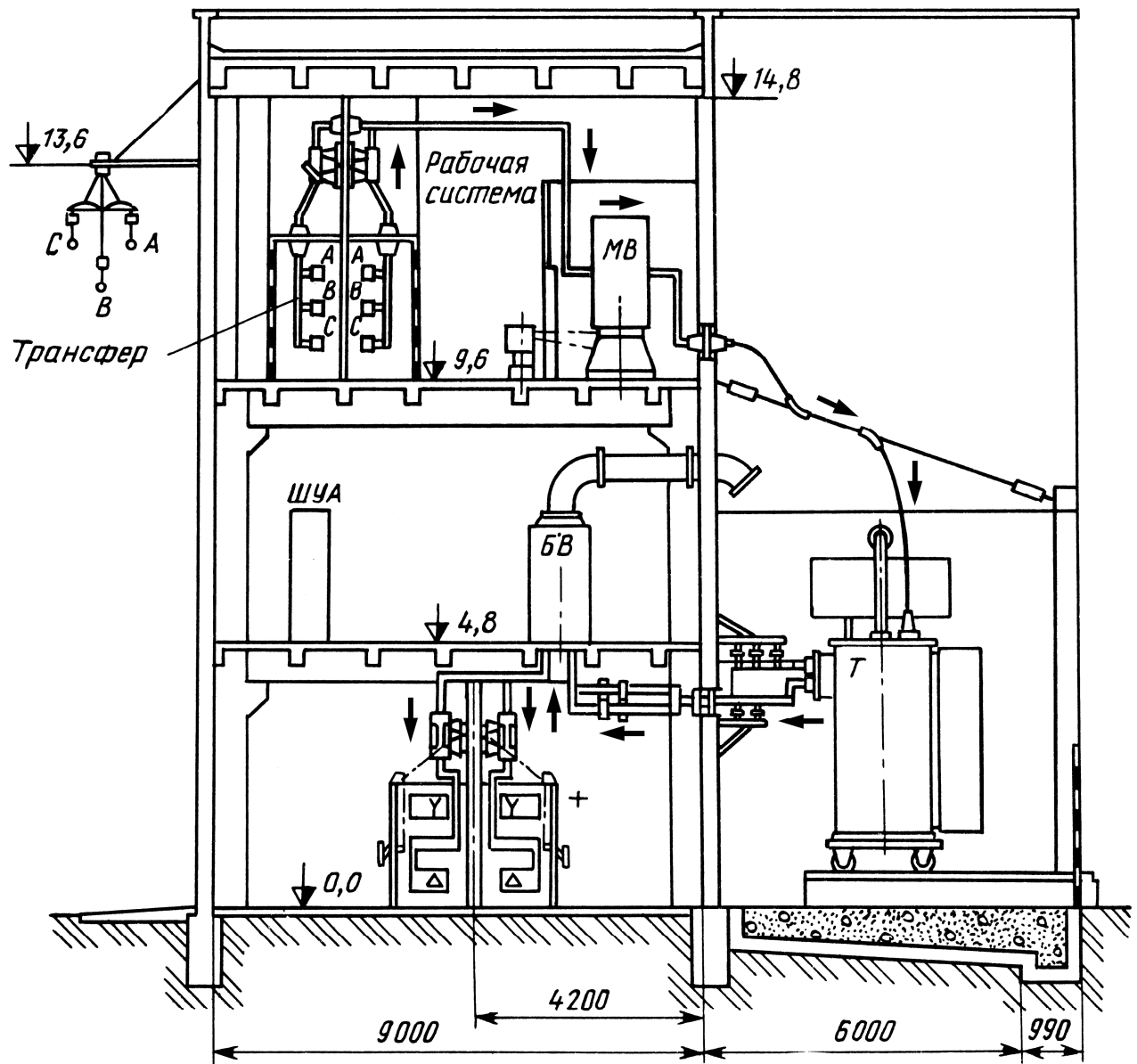
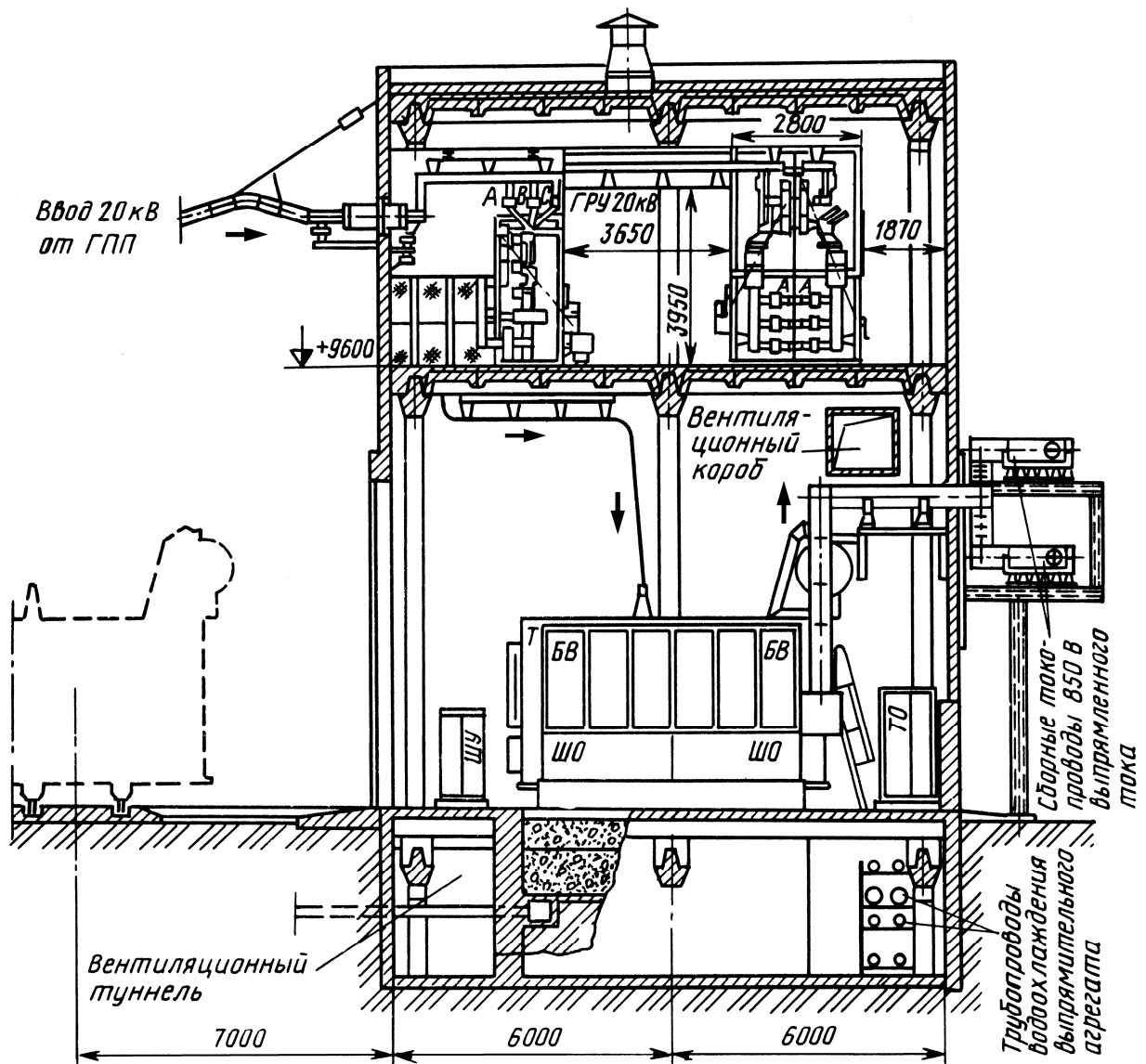


Рис. 10. План II поверху КПП розміщеної у відриві від електролізних корпусів



**Рис. 11.** Розріз по кремнієвій перетворювальній підстанції розміщеній у відриві від електролізних корпусів: БВ – блок випрямний; ШУА – шафа управління агрегатом, Т – трансформатор; МВ – масляний вимикач





**Рис. 12.** Розріз по КПП з агрегатами сполученого типу на 63 кА, 850 В: БВ – блок випрямний; ШУ – шафа управління; ТО – теплообмінник; ШО – шафа охолодження; ГПП – головна понижувальна підстанція

Результуюча напруженість у розглянутій точці від декількох прямих ділянок струмопроводу чи струмопроводів визначаються як геометрична сума напруженостей окремих ділянок.

Особливо великі напруженості магнітного поля виходять поблизу збірних струмопроводів випрямленого струму, коли струм у позитивному і негативному полюсах струмопроводу протікає в одному напрямку, наприклад, коли полюси виходять з підстанції з різних сторін.

Зменшити шкідливий вплив магнітних полів можна наступними засобами:

а) виконати збірні струмопроводи випрямленого струму таким чином, щоб струм у позитивному і негативному полюсах протікав у різних напрямках, а полюси були розміщені на невеликій відстані один від одного. У цьому випадку результуюче магнітне поле буде послаблене, а реле і прилади при розташуванні їх на відстані 4–5 м від струмопроводу, як показує досвід, не будуть мати істотних

похибок;

б) якщо збірні струмопроводи неможливо виконати компенсованими, реле і прилади варто винести з зони сильних магнітних полів.

Зазначене варто враховувати при проектуванні потужних перетворювальних підстанцій.

**Звіт повинен мати:** назву лабораторної роботи, мету, стислі теоретичні відомості.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ:

1. Будова перетворювальної підстанції.
2. Скількома випрямними агрегатами устатковується перетворювальна підстанція?
3. В якому випадку використовується одиночна секціонована система шин на РП змінного струму підстанції?
4. При якій кількості агрегатів можливе застосування одиночної секціонованої системи шин? Інші обмеження.
5. Переваги використання подвійної системи шин.
6. Для чого на потужних перетворювальних підстанціях застосовують роздільну роботу розщеплених обмоток?
7. Заходи щодо збереження роздільної роботи розщеплених обмоток підстанції і при живленні від резервного трансформатора на потужній перетворювальній.
8. Який негативний ефект виникає у процесі випрямлення на підстанції, схемно відображеній на рис.5? Шляхи подолання.
9. Особливості схем перетворювальних підстанцій, що живлять: а) кілька електролізних установок малої потужності; б) кілька графітних печей.
10. Розташування перетворювальних підстанцій. Переваги та недоліки.
11. Рисунки 8–11: розташування елементів перетворювальної підстанції по поверхах.
12. Сполучена та розподільна конструкції підстанцій.
13. Напруженість магнітного поля прямої ділянки струмопроводу (формула).
14. Негативні наслідки магнітних полів від струмопроводів та заходи по зменшенню їх шкідливого впливу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Справочник по проектированию электроснабжения. Под.ред. Ю.Г.Барыбина,

Л.Е.Федорова и др. –М.: Энергоатомиздат, 1990 г.

2. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов/А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А. А. Васильева.— М.: Энергия, 1980.— 608 с, ил.

Упорядники:  
Леонід Васильович Жиров  
Олександр Робертович Ковальов  
Сергій Володимирович Дибрін

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи СПТ-1  
"Вивчення електричних схем, варіантів розташування та конструктивного  
виконання перетворювальних підстанцій"  
для студентів спеціальностей 7.090603, 7.092203, 7.00008

Редактор  
Редакційно-видавничий комплекс  
Підписано до друку . . . Формат  
Папір Rollux. Різографія. Умов. друк. арк.  
Обліково-видавн. арк. Тираж 100 прим.  
Зам. № Безкоштовно

Національний гірничий університет  
49600, ДСП, м. Дніпропетровськ -27, просп. К. Маркса, 19