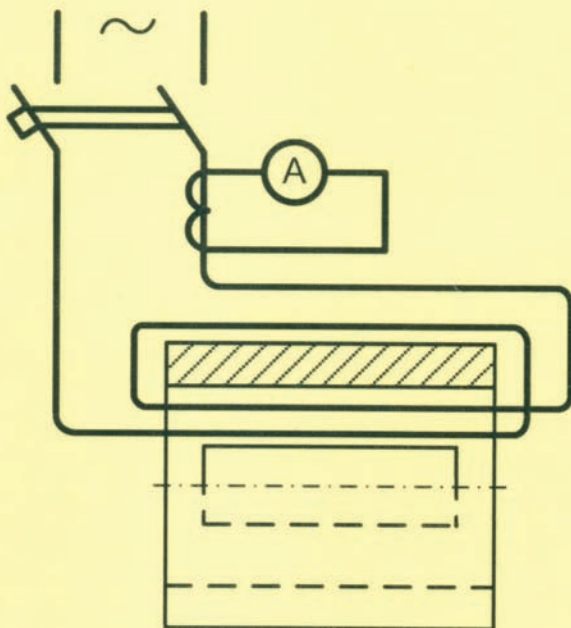


В. М. Лагутін, В. О. Лесько, В. В. Тєптя

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ  
Ч. II. РЕМОТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА  
ТРАНСФОРМАТОРІВ



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

В. М. Лагутін, В. О. Лесько, В. В. Тештя

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**  
**Ч. II. РЕМОНТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА**  
**ТРАНСФОРМАТОРІВ**

Навчальний посібник

Вінниця  
ВНТУ  
2015

УДК 621.311(075)

ББК 31.277.1я73

Л14

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 5 від 19.01.2012 р.).

Рецензенти:

**П. Д. Лежнюк**, доктор технічних наук, професор

**М. С. Сегеда**, доктор технічних наук, професор

**О. Д. Демов**, кандидат технічних наук, доцент

**Лагутін, В. М.**

Л14      Експлуатація електричних станцій. Ч. II. Ремонт електричних машин та трансформаторів : навчальний посібник / В. М. Лагутін, В. О. Лесько, В. В. Тептя. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 115 с.

В посібнику розглядаються загальні питання ремонту електричних машин і трансформаторів.

Посібник призначений для студентів вузів електроенергетичних спеціальностей.

УДК 621.311(075)

ББК 31.277.1я73

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	5
Вступ .....	6
1 Організація та структура електроремонтного виробництва .....	7
1.1 Класифікація ремонту .....	7
1.2 Планування ремонту електричних машин .....	8
1.3 Визначення трудомісткості ремонту та чисельності ремонтного персоналу .....	12
1.4 Структура цеху з ремонту електричних машин .....	18
1.5 Структура цеху з ремонту трансформаторів .....	21
1.6 Структура центральної електротехнічної лабораторії .....	22
2 Проведення ремонту .....	25
2.1 Ремонт електричних машин .....	25
2.2 Ремонт трансформаторів .....	27
2.3 Передремонтні випробування електричних машин .....	30
3 Розбирання та дефектація електричних машин .....	32
3.1 Розбирання електричних машин .....	32
3.2 Вилучення обмотки з круглого проводу .....	34
3.3 Розбирання обмоток з прямокутного проводу .....	37
3.4 Миття деталей та вузлів .....	40
3.5 Дефектація деталей та вузлів електричних машин .....	41
4 Ремонт магнітопроводів і механічних деталей електричних машин .....	43
4.1 Ремонт осердя (магнітопроводів) .....	43
4.2 Ремонт корпусів та підшипникових щитів .....	45
4.3 Ремонт валів .....	49
4.4 Ремонт короткозамкнених обмоток ротора .....	54
4.5 Ремонт колекторів і контактних кілець .....	55
5 Ремонт обмоток та складання електричних машин після ремонту .....	59
5.1 Виготовлення та укладання обмоток з круглих проводів .....	59
5.2 Виготовлення та укладання обмоток з прямокутного проводу .....	61
5.3 Ремонт стержневих обмоток роторів та обмоток полюсів .....	62
5.4 Просочування обмоток статорів та роторів .....	62
5.5 Складання електричних машин після ремонту .....	64
5.6 Випробування електричних машин після ремонту .....	68
6 Капітальний ремонт трансформаторів без розбирання активної частини .....	71
6.1 Підготовка до капітального ремонту .....	71
6.2 Ремонт активної частини трансформатора .....	75
6.3 Ремонт перемикальних пристроїв та механічних вузлів .....	79
6.4 Заклучні операції при капітальному ремонті .....	83
7 Капітальний ремонт трансформаторів із розбиранням активної частини .....	87
7.1 Дефектація трансформатора .....	87
7.2 Демонтаж активної частини трансформатора .....	89

7.3 Ремонт обмоток та магнітної системи трансформатора.....	91
7.4 Установлення ізоляції та обмоток .....	97
7.5 Сушіння, чищення та дегазация трансформаторного масла.....	99
7.6 Випробування трансформаторів після капітального ремонту.....	104
Висновки .....	108
Список літератури .....	109
Додаток А. Періодичність ремонту .....	110
Додаток Б. Норми випробувань електричних машин після ремонту .....	112

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ВЕІ – Всеросійський електротехнічний інститут
- ВН – висока напруга
- ГДС – гідравлічна деструкція сполучного
- НН – низька напруга
- ПБЗ – перемикання без збудження
- ППР – планово-попереджувальний ремонт
- ПЕЕС – правила експлуатації електроустановок споживачів
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок
- РПН – регулювання під навантаженням
- СН – середня напруга
- ТО – технічне обслуговування
- ЦКТБ – центральне конструкторсько-технологічне бюро

Механізація та централізація ремонтних робіт дозволяє значно підняти продуктивність праці, підвищити якість ремонту, збільшити міжремонтний період, зменшити затрати та скоротити час дії тимчасових малонадійних схем електропостачання, які створюються під час проведення ремонтних робіт.

Механізація ремонту складається з впровадження високопродуктивного інструменту та пристосувань, скорочення часу на організацію робіт і створення умов праці, які забезпечують більшу продуктивність. Централізація дозволяє максимально використовувати засоби механізації.

Ремонт обладнання проводиться за планом та графіком. Технологічна карта ремонту і організація робочого місця враховують схеми розподільного улаштування, тип обладнання та його компоновання, ступінь механізації робіт, технологію ремонту, кліматичні умови, умови виконання робіт (з повним або частковим зняттям напруги).

На робочому місці необхідно передбачити раціональне взаємне розташування ремонтної бригади, обладнання, що ремонтується, інструменту, пристосувань, матеріалів тощо. Робоче місце повинно мати добре освітлення.

Для виведення обладнання в ремонт необхідно підготувати потрібні матеріали та запасні частини, технічну документацію на реконструктивні роботи, протипожежні засоби, також перевірити наявність інструменту та пристосувань, склад бригади і провести інструктаж.

При ремонті повинен бути виконаний весь об'єм робіт, які вказані в відомості дефектів та виявлені в процесі ремонту з тим, щоб після його закінчення обладнання повністю відповідало вимогам нормативних документів (ПУЕ, ПТЕ, ПТБ).

# 1 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА СТРУКТУРА ЕЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

При організації територіального електроремонтного виробництва необхідно враховувати площу території, що обслуговується, розташування об'єктів та величину їх ремонтного фонду, а також можливості постачання електроремонтного підприємства електроенергією, водою, паливом, робочою силою тощо. При крупних заводах зазвичай організують власні електроремонтні виробництва, які мають цехову структуру.

## 1.1 Класифікація ремонту

Важливою умовою правильної експлуатації електричних машин і трансформаторів є своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР) та періодичних профілактичних випробувань.

Поряд з повсякденним наглядом та оглядом обладнання відповідно до правил експлуатації електроустановок споживачів (ПЕЕС) через певні проміжки часу проводять планові міжремонтні випробування та вимірювання (профілактичні випробування, які не пов'язані з виведенням в ремонт) і різні види ремонту. За допомогою системи ППР обладнання підтримується в роботоздатному стані, який забезпечує виконання ним своїх технічних функцій, і частково запобігають випадкам відмов обладнання. В ході планового ремонту обладнання в результаті модернізації покращують його технічні параметри.

При плануванні і організації ремонту потрібно мати на увазі, що електричні машини та трансформатори можуть мати ремонтпридатну і неремонтпридатну конструкцію. В останньому випадку замість ремонту обладнання здійснюють його заміну.

За *об'ємом* ремонт підрозділяють на поточний, середній та капітальний. *Поточний ремонт* проводять під час експлуатації обладнання для гарантованого забезпечення його роботоздатності, він полягає в заміні і відновленні його окремих частин та в їх регулюванні. Поточний ремонт проводиться на місці установаження обладнання з його зупинкою та відключенням. *Середній ремонт* передбачає повне або часткове розбирання обладнання, ремонт і заміну зношених деталей та вузлів, відновлення якості ізоляції. При цьому досягається відновлення основних технічних показників роботи обладнання. *Капітальний ремонт* передбачає повне розбирання обладнання із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи обмотки. При цьому досягається повне (або близьке до нього) відновлення ресурсу. Зараз в основному проводять поточний та капітальний ремонт, хоча в деяких випадках передбачають і середній ремонт.

За *призначенням* ремонт поділяється на відновлювальний, реконструкцію і модернізацію. *Відновлювальний ремонт* здійснюється без зміни

конструкції окремих вузлів та всього пристрою в цілому. Технічні характеристики обладнання залишаються незмінними. В ході *реконструкції* можуть змінюватись конструкції окремих вузлів і замінюватись окремі матеріали, з яких вони виготовлені, при практично незмінних технічних характеристиках. *Модернізація* передбачає заміну та удосконалення існуючих вузлів та матеріалів, які використовуються, щоб суттєво покращити технічні характеристики, наближаючи їх до характеристик нового сучасного обладнання.

За *формою організації* ремонт поділяється на централізований, децентралізований і змішаний. При *централізованому ремонті* роботи здійснюються спеціалізовані ремонтно-налагоджувальні підприємства без використання місцевих ремонтно-експлуатаційних служб. До цієї форми ремонту належить і фірмове технічне обслуговування (ТО) відповідального імпортерного обладнання. Удосконалення цієї форми ремонту передбачає створення центрального обмінного фонду обладнання та розширення його номенклатури, а також розповсюдження сфери послуг ремонтних підприємств на проведення поточного ремонту і профілактичного обслуговування. Централізована форма ремонту забезпечує найбільш високу якість робіт.

При *децентралізованому ремонті* роботи здійснюються ремонтні служби підприємства, на якому встановлено це обладнання.

При *змішаному ремонті* частину робіт виконується централізовано (сторонніми організаціями), а частина – децентралізовано (власними ремонтними службами). Ступінь централізації залежить від характеру підприємства, типу і потужності обладнання.

## 1.2 Планування ремонту електричних машин

При плануванні ремонтного виробництва використовують поняття «ремонтний цикл», під яким розуміється календарний час між двома капітальними ремонтами. Для знову введеного в експлуатацію обладнання під ремонтним циклом розуміється календарний час від введення в експлуатацію до першого планового капітального ремонту.

Тривалість ремонтного циклу визначається умовами експлуатації, умовами до показників надійності, ремонтнопридатністю, ПЕЕС та інструкціями заводу-виробника. Зазвичай ремонтний цикл визначається, виходячи з 8-ми годинного робочого дня при 41-годинному робочому тижні (для обладнання спеціалізованих виробництв в розрахунок ремонтного циклу може бути введений конкретний графік роботи цього обладнання). Реальна змінність роботи обладнання та умови його роботи враховуються відповідними емпіричними коефіцієнтами.

При визначенні тривалості ремонтного циклу виходять з графіка (рис. 1.1) розподілу частоти відмов  $T$  технічних виробів від часу (так звана «крива життя» технічного виробу). На цьому графіку можна виділити три області:

1 – час після ремонтного припрацьовування, коли ймовірність появи відмов підвищується через можливе використання при ремонті неякісних матеріалів, недотримання технології ремонту тощо;

2 – етап нормальної роботи обладнання з практично незмінною частотою відмов в часі;

3 – термін старіння окремих вузлів і обладнання в цілому.

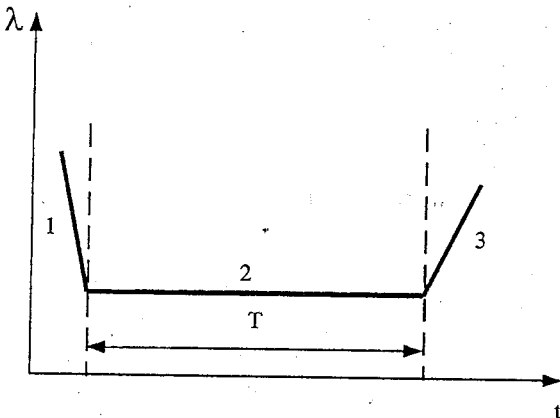


Рисунок 1.1 – «Крива життя» технічного виробу:

1 – час після ремонтного припрацьовування; 2 – етап нормальної роботи;  
3 – термін старіння обладнання

Для запобігання відмовам при експлуатації в період припрацьовування (область 1) дефективні вузли та деталі замінюють справними і, по можливості, здійснюють припрацьовування окремих вузлів. Для відповідального обладнання припрацьовування проводять безпосередньо на заводі-виробнику або ремонтному підприємстві. В період нормальної експлуатації (область 2) виникають раптові відмови, які носять випадковий характер. Під час старіння обладнання (область 3) підвищення частоти відмов обладнання пов'язано з його зносом та фізичним старінням, при яких спостерігається суттєве погіршення робочих властивостей ізоляції, електричних контактних поверхонь, підшипників та механічного навантажень вузлів. З цього можна зробити висновок, що тривалість ремонтного циклу не повинна перевищувати тривалість нормальної ділянки роботи  $T$  (область 2).

При плануванні структури ремонтного циклу (види і послідовність чергування планових ремонтів) виходять з того, що в кожній електричній машині та трансформаторі поряд з вузлами та деталями, які швидко зношуються, (щітки, рухомі і нерухомі контакти, підшипники тощо), відновлення яких зазвичай проводиться шляхом їх заміни на нові або незначного

ремонту, є вузли та деталі з великим терміном зносу (обмотки, магнітопрроводи, механічні деталі тощо), відновлення яких проводиться шляхом достатньо трудомісткого та такого ремонту, що займає багато часу. Тому під час експлуатації між капітальними ремонтами проводяться поточні (або середні) ремонти обладнання.

Проведення поточного ремонту, як правило, не потребує спеціальної зупинки основного технологічного обладнання, в той час як капітальний ремонт при відсутності резервного обладнання пов'язаний із зупинкою основного технологічного процесу. Тому тривалість ремонтного циклу потрібно по можливості узгоджувати з міжремонтним періодом основного технологічного обладнання.

Зазвичай ремонти планують на календарний рік з розбиттям по кварталах та місяцях. Таке планування називається поточним. Поряд з поточним здійснюється і оперативне планування з використанням сіткових графіків.

При плануванні структури ремонтного циклу виходять з тривалості ремонтного циклу відповідно до «кривої життя» технічного виробу. Період часу між двома плановими ремонтами  $T_{пл}$  визначається тривалістю ремонтного циклу  $T_{табл.}$ , який у свою чергу розраховується при нормальних умовах експлуатації та двозмінній роботі електричних машин. Значення  $T_{табл.}$  для деяких характеристик виробництв наведено у додатку А.

В період між двома капітальними ремонтами проводять декілька поточних. Час між двома плановими поточними ремонтами  $t_{пл}$  визначається тривалістю міжремонтного періоду  $t_{табл.}$ , значення якого також наведено у додатку А.

Планова тривалість роботи між двома капітальними і поточними ремонтами визначається за формулами [2]:

$$T_{пл} = T_{табл.} \cdot \beta_k \cdot \beta_p \cdot \beta_v \cdot \beta_o \cdot \beta_c; \quad (1.1)$$

$$t_{пл} = t_{табл.} \cdot \beta_k \cdot \beta_p \cdot \beta_v \cdot \beta'_o \cdot \beta_c; \quad (1.2)$$

де  $\beta_i$  – коефіцієнти, які побічно враховують реальний характер навантаження електричної машини:

$\beta_k = 0,75$  для колекторних машин та 1,0 для інших машин;

$\beta_p$  – коефіцієнт, який враховує змінність роботи машин і визначається кількістю змін  $K_{зм}$ ;

$\beta_o = \beta'_o = 1,0$  для електричних машин, які віднесено до допоміжного обладнання;

$\beta_o = 0,85$  та  $\beta'_o = 0,7$  для машин основного обладнання;

$\beta_v$  – коефіцієнт використання, який визначається в залежності від відношення фактичного коефіцієнта попиту  $K_{фп}$  до нормованого  $K_n$ ;

$\beta_c = 1,0$  для електричних машин, які встановлено на стаціонарних установках;

$\beta_c = 0,6$  для машин пересувних електричних установок.

Значення коефіцієнтів  $\beta_v$  і  $\beta_p$  в залежності від  $K_{ф.п}/K_{п}$  складають:

$K_{ф.п}/K_{п}$	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,3
$\beta_v$	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
$K_{зм}$	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5-3
$\beta_p$	2	1,6	1,35	1,13	1	0,8-0,67

Під коефіцієнтом попиту  $K_{п}$  розуміється відношення максимального навантаження підприємства (цеху, окремого виробництва)  $P_{\max}$  до сумарної потужності встановлених на ньому електромагнітів  $P_v$  (електродвигунів, електротехнологічних процесів, освітлення тощо). Під  $P_{\max}$  маємо на увазі півгодинний максимум навантаження підприємства, який закладено в його технічний проект і такий, що заявляється підприємством при складанні договору з енергопостачальною організацією. За величиною  $P_{\max}$  визначають необхідну сумарну потужність трансформаторів, які зв'язують підприємство з електричною системою. Таким чином,

$$K_{п} = P_{\max} / P_v \quad (1.3)$$

Реальне навантаження підприємства може відрізнитися від розрахункового також як і сумарна потужність встановлених на ньому приймачів електричної енергії: тому поряд з коефіцієнтом  $K_{п}$  (див. додаток А) вводиться коефіцієнт  $K_{ф.п}$ , який визначається дослідним шляхом за фактичним середньогодинним максимумом навантаження  $P_{ф.п. \max}$  і фактично встановленою потужністю електроприймачів  $P_{ф.в}$ . Коефіцієнт фактичного попиту може суттєво відрізнитися від попередньо прийнятого. Чим більший  $K_{ф.п}$ , тим більше середнє навантаження електричних машин, встановлених на підприємстві:

$$K_{ф.п} = P_{ф.п. \max} / P_{ф.в} \quad (1.4)$$

За вказаною методикою для кожної електричної машини, яка встановлена на підприємстві, можна розрахувати час між капітальним і поточним ремонтом та скласти календарний графік їх проведення, узгоджуючи його з графіком ремонту основного технологічного обладнання. На базі графіків ремонту по окремих ділянках та цехах складається зведений графік ремонту електричних машин по підприємству в цілому.

**Приклад.** Визначити тривалість ремонтного циклу та міжремонтного періоду для асинхронного рольгангового двигуна з короткозамкненим ротором типу АР, який встановлено на прокатному стані металургійного заводу та має тризмінний графік роботи (безперервне виробництво) і коефіцієнт фактичного попиту 0,6.

З додатка А знаходимо, що для гарячих цехів  $T_{\text{табл}} = 4$  р.  $t_{\text{табл}} = 6$  міс. при  $K_n = 0,45$ . Далі визначаємо значення відповідних коефіцієнтів:

$\beta_x = 1$  (у двигуна немає колектора);

$\beta_p = 0,67$  при  $K_{\text{зм}} = 3$ ;

$\beta_v = 0,7$  (для  $K_{\text{ф.л}}/K_n = 0,6/0,45 = 1,33$ );

$\beta_o = 0,85$ ;

$\beta'_o = 0,7$  (двигун належить до основного обладнання);

$\beta_c = 1$  (установка стаціонарна).

Тоді відповідно до формул (1.1) та (1.2) розрахуємо час між двома, капітальним  $T_{\text{пл}}$  та поточним  $t_{\text{пл}}$  ремонтами:

$$T_{\text{пл}} = 4 \cdot 1,0 \cdot 0,67 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1,6 \text{ р.}$$

$$t_{\text{пл}} = 6 \cdot 1,0 \cdot 0,67 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 2 \text{ міс.}$$

Термін 2 міс. відповідає 0,167 р., тому між двома капітальними ремонтами двигун повинен пройти 8 поточних ( $T_{\text{пл}}/t_{\text{пл}} = 1,6/0,167 \approx 9$ , але оскільки черговий капітальний ремонт збігається з поточним, то останній поточний ремонт замінюється на черговий капітальний).

### 1.3 Визначення трудомісткості ремонту та чисельності ремонтного персоналу

При організації електроремонтного виробництва потрібно враховувати розміри району обслуговування, розташування об'єктів, що обслуговуються, та величину їх ремонтного фонду, а також можливість забезпечення електроремонтного підприємства електричною і тепловою електроенергією, водою, транспортом, кваліфікованою робочою силою тощо. Приміщення електроремонтних підприємств повинні бути захищені від опадів і проникнення пилу.

При визначенні розміру ремонтного підприємства потрібно мати на увазі не тільки об'єм парку електричного обладнання, який обслуговується, але і економічну ефективність його роботи. Дослідження показали, що при збільшенні кількості умовних ремонтних одиниць до 5 тис. відбувається інтенсивне зниження трудомісткості та собівартості ремонту. При збільшенні кількості умовних ремонтних одиниць від 5 до 70 тис. зниження трудомісткості і собівартості відбувається із середньою інтенсивністю, а

в інтервалі 70÷200 тис. трудомісткість і собівартість ремонту зменшується незначно. Тому максимальний об'єм електроремонтного виробництва, при якому забезпечується мінімальна собівартість ремонту, знаходиться в межах 160÷180 тис. умовних одиниць. При великій кількості електричних машин, які обслуговуються одним ремонтним підприємством, собівартість ремонту знижуватись не буде.

Особливу увагу при організації електроремонтного виробництва потрібно приділяти якості ремонту, який забезпечував би практично повне відновлення ресурсу електричних машин і трансформаторів. Це, в свою чергу, потребує використання достатньо дорогого спеціалізованого обладнання, яке окупається при високому його завантаженні. Таким чином, для створення ефективного електроремонтного виробництва необхідно мати достатню кількість обладнання, що ремонтується на ньому.

Вартість ремонту сягає зараз 60–80% вартості нового обладнання при практичній відсутності дефіциту останнього на ринку. Тому проводити неякісний ремонт не має ніякого сенсу. Якщо якісний ремонт не можливо забезпечити, то доцільно замінити несправне обладнання на нове.

Для планування виробництва та визначення річної програми ремонтного підприємства необхідно мати відомості про кількість, потужність, режими та умови роботи обладнання, яке встановлено на виробництвах, що обслуговуються цим підприємством. Потрібно враховувати також можливість розвитку (розширення) виробництв, що обслуговуються, на термін 5–7 років.

Всі електричні машини, які знаходяться в експлуатації, поділяються на групи в залежності від типу (асинхронні, синхронні, постійного струму), потужності (малої – до 1,1 кВт, середньої – до 1,5÷400 кВт, великої – понад 400 кВт), рівня напруги (низьковольтної – до 1 кВ, високовольтної – понад 1 кВ), конструктивного виконання та тривалості міжремонтного періоду. При наявності вказаних відомостей за номенклатурою електричних машин, які підлягають ремонту, річна продуктивність електроремонтного підприємства в одиницях продукції записується у вигляді [2]:

$$P_e = K_p \left[ \left( \frac{A_1}{T_1} + \frac{A_2}{T_2} + \dots + \frac{A_n}{T_n} \right) + \left( \frac{A_1}{t_1} + \frac{A_2}{t_2} + \dots + \frac{A_n}{t_n} \right) \right], \quad (1.5)$$

де  $K_p = 1,3 \div 1,6$  – коефіцієнт, який враховує розвиток виробництв, що обслуговуються, і можливі випадкові відмови;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  – кількість електричних машин у кожній групі;

$T_1, T_2, \dots, T_n$  – середня тривалість ремонтного циклу кожної групи машин в роках;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – середня тривалість міжремонтного періоду для цих груп в роках.

Якщо поточний ремонт проводиться силами самого підприємства, на якому використовуються електричні машини, то з формули (1.5) потрібно вилучити другу складову і визначити річну продуктивність тільки по капітальному ремонту.

Таким чином, кількість електричних машин, які щорічно проходять ремонт в кожній групі, має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{A_1}{T_1} + \frac{A_1}{t_1}; \\ a_2 &= \frac{A_2}{T_2} + \frac{A_2}{t_2}; \\ &\dots\dots\dots \\ a_n &= \frac{A_n}{T_n} + \frac{A_n}{t_n}. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Річна тривалість робіт з ремонту парку електричних машин, який обслуговується, визначається за формулою (люд.·год):

$$\begin{aligned} TP &= \left( \frac{A_1}{T_1} \right) \cdot M_1 + \left( \frac{A_1}{t_1} \right) \cdot m_1 + \left( \frac{A_2}{T_2} \right) \cdot M_2 + \left( \frac{A_2}{t_2} \right) \cdot m_2 + \dots + \\ &+ \left( \frac{A_m}{T_m} \right) \cdot M_m + \left( \frac{A_n}{t_n} \right) \cdot m_n. \end{aligned} \quad (1.7)$$

де  $M_i, m_i$  – середній нормативний час капітального і поточного ремонту для кожної групи електричних машин.

Нормативний час ремонту залежить від типу електричної машини та її конструктивного виконання, частоти обертання, напруги і виду ремонту. Ремонтні заводи електротехнічної промисловості при організації ремонту використовують спеціальні норми трудомісткості, один з прикладів яких наведено у таблиці 1.1.

Для розрахунку норм трудомісткості ремонту інших електричних машин впроваджують додаткові коефіцієнти трудомісткості:

$K_n$  – для швидкостей, які відрізняються від 1500 об/хв;

$K_u$  – для машин з напругою понад 1000 В;

$K_t$  – для інших типів машин.

Таким чином, трудомісткість капітального  $M$  і поточного  $m$  ремонту електричної машини потужністю  $P_i$  можна визначити за формулами [2]

$$M_i = M_{i\text{баз}} \cdot K_n \cdot K_t \cdot K_u; \quad (1.8)$$

$$m_i = m_{i\text{баз}} \cdot K_n \cdot K_t \cdot K_u, \quad (1.9)$$

де  $M_{i\text{баз}}$ ,  $m_{i\text{баз}}$  – трудомісткість капітального і поточного ремонтів ба-  
зового асинхронного двигуна потужністю  $P_i$  (див. таблицю 1.1);

$K_t$  – коефіцієнти трудомісткості (дивись таблицю 1.2).

Таблиця 1.1 – Норми трудомісткості ремонту низьковольтних асинхронних  
двигунів напругою менше 1000 В з короткозамкнутою обмоткою ротора,  
потужністю до 630 кВт і частотою обертання 1500 об/хв.

Потуж- ність, кВт	Норми трудомісткості ремонту, люд.год		Потуж- ність, кВт	Норми трудомісткості ремонту, люд.год	
	капітальний	поточний		капітальний	поточний
до 0,8	11	2	56–75	69	15
0,8–1,5	12	2	76–100	85	18
1,6–3,0	13	3	101–125	110	22
3,1–5,5	15	3	126–160	130	27
5,6–10,0	20	4	161–200	140	30
11–17	27	6	201–250	155	33
18–22	32	7	251–320	175	36
23–30	40	8	321–400	195	40
31–40	47	10	401–500	225	44
41–55	55	12	501–630	260	52

Таблиця 1.2 – Коефіцієнт для перерахунку норм трудомісткості інших еле-  
ктричних машин

Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів залежно від типу машини					
	3000	1500	1000	750	600	500
$K_n$	0,8	1,1	1,1	1,2	1,4	1,5
Тип машини	колекторна		синхронна		з фазним ротором	
$K_t$	1,8		1,2		1,3	
Напруга, В	від 1000 до 3300			понад 3300 до 6600		
$K_u$	1,7			2,1		

Для великих високовольтних електричних двигунів і генераторів нор-  
ми трудомісткості ремонту визначаються підприємствами виробниками.

Приклад. Визначити трудомісткість капітального і поточного ремонтів  
синхронного двигуна потужністю 500 кВт, напругою 3,3 кВ, який має но-  
мінальну швидкість 600 об/хв:

$$M_i = M_{i\text{баз}} \cdot K_n \cdot K_t \cdot K_u = 225 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,7 = 643 \text{ люд.год};$$

$$m_i = m_{i_{\text{баз}}} \cdot K_n \cdot K_t \cdot K_u = 44 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,7 = 126 \text{ люд.}\cdot\text{год.}$$

Розрахувавши за формулами (1.7)÷(1.9) трудомісткість ремонту всього парку машин, що обслуговуються, визначають кількість виробничих робочих  $N$ , які необхідні для виконання річної програми  $TP$ :

$$N = \frac{TP}{\Phi}, \quad (1.10)$$

де  $\Phi$  – річний фонд часу одного робочого, який дорівнює при 41-годинному робочому тижні 1860 год (відпустка складає 15 днів), 1840 год (відпустка – 18 днів), 1820 год (відпустка – 24 дні).

Розглянута методика є достатньо трудомісткою і потребує великого об'єму не завжди доступної інформації, що призводить до помилок в розрахунках. Тому на практиці часто використовують спрощену методику розрахунку, її суть така.

Для проведення розрахунків запроваджується поняття умовної *одиниці ремонту*, за яку приймається трудомісткість ремонту одного асинхронного двигуна з короткозамкненою обмоткою ротора потужністю 5 кВт, напругою 220/380 В, зі швидкістю 1500 об/хв і ступенем захисту IP23. При відсутності точних даних про структуру електродвигунів, їх кількість визначають за загальною кількістю встановлених на підприємстві верстатів.

Для переходу до умовних одиниць ремонту кількість верстатів  $n$  множать на коефіцієнт  $K_{\text{тип}}$  так, щоб кількість умовних одиниць ремонту  $R$  на одному підприємстві мала вигляд:

$$R = n \cdot K_{\text{тип}}, \quad (1.11)$$

де  $K_{\text{тип}} = 2,8 \div 3,2$  – для автомобільних заводів;

$K_{\text{тип}} = 3,5 \div 4,5$  – для заводів важкого машинобудування;

$K_{\text{тип}} = 3,0 \div 3,2$  – для підшипникових заводів та заводів електротехнічної промисловості;

$K_{\text{тип}} = 3,0 \div 3,5$  – для верстато-інструментальних заводів;

$K_{\text{тип}} = 3,3 \div 4,3$  – для заводів будівельного, шляхового та комунального машинобудування.

Підсумовуючи кількість умовних одиниць ремонту на підприємствах, які обслуговуються, отримують їх загальну кількість  $\Sigma R$ . Далі за викладеною раніше методикою визначають тривалість ремонтного циклу та міжремонтного періоду в залежності від характеру виробництва, а за формулами (1.7) і (1.10) – річну трудомісткість і кількість виробничих робочих ремонтного підприємства.

Якщо середня потужність встановлених на підприємстві двигунів відрізняється від 5 кВт, то за допомогою коефіцієнтів зведення переходять до умовних одиниць ремонту [2]:

Середня потужність, кВт.....	1	3	5	7	10	15
Коефіцієнт приведення.....	0,69	0,78	1	1,19	1,25	1,5
Середня потужність, кВт.....	20	30	40	55	75	100
Коефіцієнт зведення.....	1,8	2,1	2,2	2,3	3,7	4,6

Розраховану за даною методикою трудомісткість ремонту зазвичай збільшують на 30% для врахування електричних двигунів, які встановлено на підприємстві на допоміжному обладнанні.

За відомою кількістю основних робочих  $N$  визначають кількість допоміжних робочих  $N_{\text{доп.}}$ , інженерно-технічних робітників  $N_{\text{ІТР}}$ , службовців і молодшого обслуговуючого персоналу  $N_{\text{сл.}}$ :

$$\left. \begin{aligned} N_{\text{доп.}} &= (0,15 \div 0,18) \cdot N; \\ N_{\text{ІТР}} &= (0,08 \div 0,12) \cdot (N + N_{\text{доп.}}); \\ N_{\text{сл.}} &= (0,025 \div 0,04) \cdot (N + N_{\text{доп.}}) \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

Приблизний розподіл основних робочих електроремонтного підприємства по професіях визначається трудомісткістю відповідної групи робіт із ремонту.

В таблиці 1.3 наведено розрахунок трудомісткості робіт із капітального ремонту чотириполюсного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором потужністю 30 кВт напругою 220/380 В і частотою обертання 1500 об/хв. Відповідно до наведеної трудомісткості окремих видів робіт розподіл основних робочих по професіях може виглядати таким чином: електрообмотувальники – 40%, електрослюсарі – 37%, електромонтери випробувальної станції – 3%, верстатники – 5%, просочувальники – 4%, інші – 11%.

Таблиця 1.3 – Трудомісткість капітального ремонту асинхронного двигуна

Вид робіт	Трудомісткість	
	люд.год	%
1	2	3
Очищення двигуна	0,4	1,0
Розбирання, зняття підшипників, миття вузлів і деталей, дефектування	4,0	10,0
Механічна обробка та зварювальні роботи	5,6	14,0
Видалення обмотки статора, очищення пазів статора	3,0	7,5

Продовження таблиці 1.3

1	2	3
Відновлення посадочних місць, напресування підшипників	1,0	2,5
Балансування ротора	1,0	2,5
Виготовлення і укладання обмотки, формування та бандажування лобових частин, паяння і ізолювання схеми	18,0	45,0
Просочування та сушіння обмотки	2,0	5,0
Складання двигуна	3,7	9,25
Нанесення гальванічних покриттів, фарбування двигуна	1,3	3,25
РАЗОМ:	40	100

#### 1.4 Структура цеху з ремонту електричних машин

Структура електроремонтного підприємства та склад його обладнання визначаються в основному номенклатурою та об'ємом обладнання, яке ремонтується. Оскільки форма організації ремонту електричних машин, трансформаторів і іншого електротехнічного обладнання є цеховою, то далі розглядається саме ця форма організації робіт. Потрібно відмітити, що ремонтний цех може бути як самостійною виробничою одиницею, так і одним з цехів великого галузевого підприємства.

В ремонтному цеху здійснюються [2, 6]:

- капітальний ремонт електричних машин, їх реконструкція і модернізація;

- середній і поточний ремонт;

- ремонт і виготовлення пускорегулювальної апаратури;

- виготовлення запасних частин;

- виготовлення електромонтажних вузлів і заготовок;

- ремонт і виготовлення технологічних пристосувань для ремонту.

Усі роботи, які проводяться в цьому цеху, можна розбити на вісім основних видів: передремонтні, розбирально-дефектаційні, ізоляційно-обмоткові, слюсарно-механічні, комплектувальні, складальні, оздоблювальні та післяремонтні. Відповідно до виду робіт, що виконуються, в склад ремонтного цеху, як правило, входять такі відділення та ділянки:

- склади продукції, яка поступає, і готової продукції (територіально вони можуть бути об'єднані);

- випробувальна ділянка;

- ділянка розбирання, миття та дефектації;

- ремонтно-механічна ділянка;

- ковальсько-зварювальна ділянка;

- відділення ремонту контактних кілець, колекторів та щіткових апаратів;

- обмоткова ділянка;
- ділянка відновлення обмоткових проводів (у разі випадків тут здійснюється і виготовлення нового обмоткового проводу);
- просочувально-сушильна ділянка з відділенням фарбування;
- ділянка комплектації та складання;
- випробувальна станція.

Крім того, в структуру цеху можуть бути включені ділянки гальванопластики та теслярська майстерня. Типова схема організації ремонту наведена на рисунку 1.2.

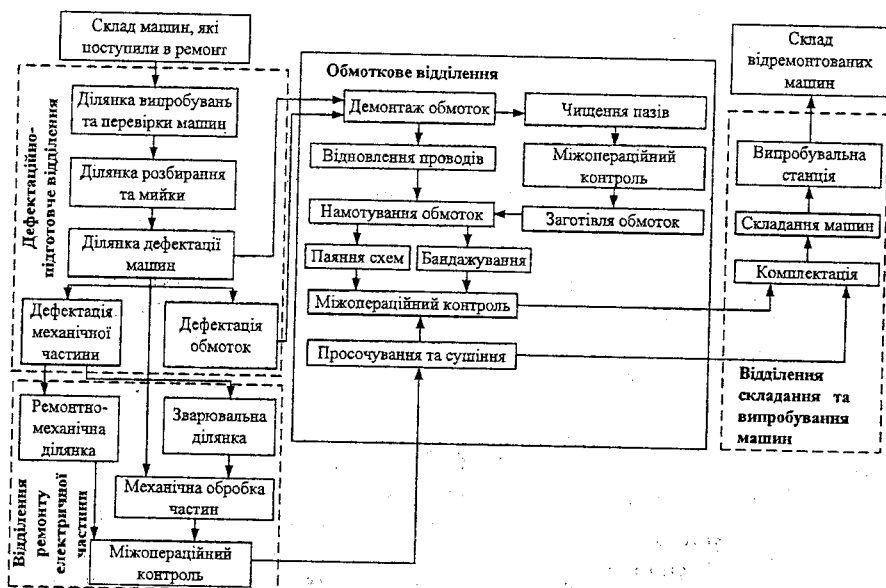


Рисунок 1.2 – Типова структурно-технологічна схема ремонту електричних машин

Розглянемо особливості роботи та оснащення найбільш важливих ділянок ремонтного цеху.

**Випробувальна ділянка.** Тут здійснюють передремонтні випробування для виявлення несправностей електричних машин, які поступають в ремонт. Крім зовнішнього огляду тут вимірюють активний опір та опір ізоляції обмоток, перевіряють цілісність підшипників (при роботі машини на холостому ході), правильність та щільність прилягання щіток до колектора і контактних кілець, рівень вібрації. Ділянка повинна бути обладнана підйомно-транспортним та випробувальним обладнанням.

**Ділянка розбирання, миття та дефектації.** Тут здійснюють чистення машин перед розбиранням, розбирають їх на окремі вузли та деталі і

здійснюють дефектацію (діагностику), визнаючи їх стан, ступінь зносу і об'єм необхідного ремонту. Несправні деталі та вузли передають для ремонту на відповідні ділянки, а справні – на ділянку комплектації. За результатами дефектації складається дефектаційна відомість, яка визначає необхідний об'єм ремонту та потребу в комплектуючих виробач.

Ділянка повинна бути обладнана підйомно-транспортним обладнанням та обладнанням для миття, а також механічними та електричними інструментами для розбирання машини, верстатами для вилучення обмотки, печі для випалювання (або розм'якшування) ізоляції, пристосування для виведення ротора зі статора.

**Ремонтно-механічна та ковальсько-зварювальна ділянка.** На цих ділянках ремонтують зношені та виготовляють нові конструктивні деталі електричних машин – вали, корпуси підшипників ковзання, кришки підшипників тощо. Тут також ремонтують і виготовляють нові струмоведучі частини, такі як контактні кільця, колектори, щіткові механізми, контакти. На цих ділянках здійснюють ремонт та перешихтування магнітопроводів, а також механічну обробку та відновлення різьбових з'єднань. Крім того, тут виготовляють необхідні для ремонту технологічні пристосування.

Ділянки мають відповідний парк універсальних верстатів для механічної обробки деталей, підйомно-транспортне обладнання, преси та ножиці для різання металу, універсальне зварювальне та слюсарне обладнання.

**Обмоткова ділянка.** Тут ремонтують старі та виготовляють нові обмотки електричних машин, відновлюють пошкоджений обмотковий провід, здійснюють укладання, просочування та сушіння обмоток, виконують складання робочої схеми з'єднання обмоток та здійснюють контроль ізоляції обмоток в процесі її виготовлення та укладання. У відділенні фарбування проводять оздоблювальні роботи та фарбування машин після складання та випробувань.

На цій ділянці встановлюються верстати для очищення та ізолювання проводів, намотування обмоток, різання та формування ізоляції, преси для формування котушок з прямокутного проводу, спеціальні верстати для бандажування обмоток. Ділянка обладнана інструментом для паяння та зварювання проводів, необхідним просочувальним обладнанням та сушильними шафами. Відновлення, просочення і сушіння повинно мати добру витяжну вентиляцію. Підйомно-транспортне обладнання розраховується на вузли, які мають максимальну масу (як правило, це статори найбільш крупних машин).

**Ділянка комплектації та складання.** Тут проводяться післяремонтні випробування електричних машин за відповідними програмами, а також випробування нових конструкцій, вузлів та деталей, які виготовлено в процесі реконструкції або модернізації.

Станція має підйомно-транспортне обладнання та випробувальні стенди, включаючи стенди для високовольних випробувань, а також відповідні захисне обладнання.

## 1.5 Структура цеху з ремонту трансформаторів

В цеху із ремонту трансформаторів проводяться:

- капітальний ремонт трансформаторів, їх реконструкція і модернізація;

- середній і поточний ремонт;

- виготовлення запасних частин для трансформаторів;

- ремонт маслонаповнених електричних апаратів.

Подібно ремонту електричних машин усі роботи, які проводяться в цьому цеху, можна розбити на вісім основних видів: передремонтні, розбирально-дефектаційні, обмоткові, слюсарно-механічні, комплектувальні, складальні, оздоблювальні та післяремонтні. Відповідно до видів робіт, які виконуються, в склад ремонтного цеху входять такі відділення та ділянки (рис. 1.3):

- склади несправних та відремонтованих трансформаторів ;

- випробувальна ділянка;

- ділянка огляду, розбирання та дефектації трансформаторів і маслонаповнених апаратів;

- ділянка чищення та миття баків;

- зварювально-механічна ділянка, на якій проводиться і ремонт систем регулювання напруги;

- відділення підготування масла (масляне господарство);

- ділянка ремонту магнітопроводів, яка обладнана стаціонарною установкою для лакування пластин (для спеціалізованих підприємств з великим об'ємом робіт);

- відділення з ремонту та виготовленню обмоток;

- суцільно-просочувальне відділення;

- склад комплектуючих виробів та інструментів;

- складальна ділянка;

- ділянка заливання трансформаторів маслом;

- випробувальна станція;

- ділянка фарбування баків.

Трансформатори, які поступають в ремонт, надто різноманітні за потужністю, габаритами, напругою та конструктивним виконанням. В більшості випадків використовується індивідуальний метод ремонту за технологією заводів-виробників трансформаторів.

Особливістю цеху з ремонту трансформаторів є наявність масляного господарства та значний об'єм робіт з підготовки масла. При ремонті масла або відновлюють, або замінюють на нове. Для цього необхідно мати достатню кількість масла та ємність для його зберігання, а в цеху повинні бути прокладені маслопроводи та встановлена маслоочищувальна апаратура. Трансформаторне масло є горючим матеріалом, тому особливу увагу необ-

хідно приділяти пожежній безпеці та особливо на тих ділянках, де проводиться роботи з маслом.

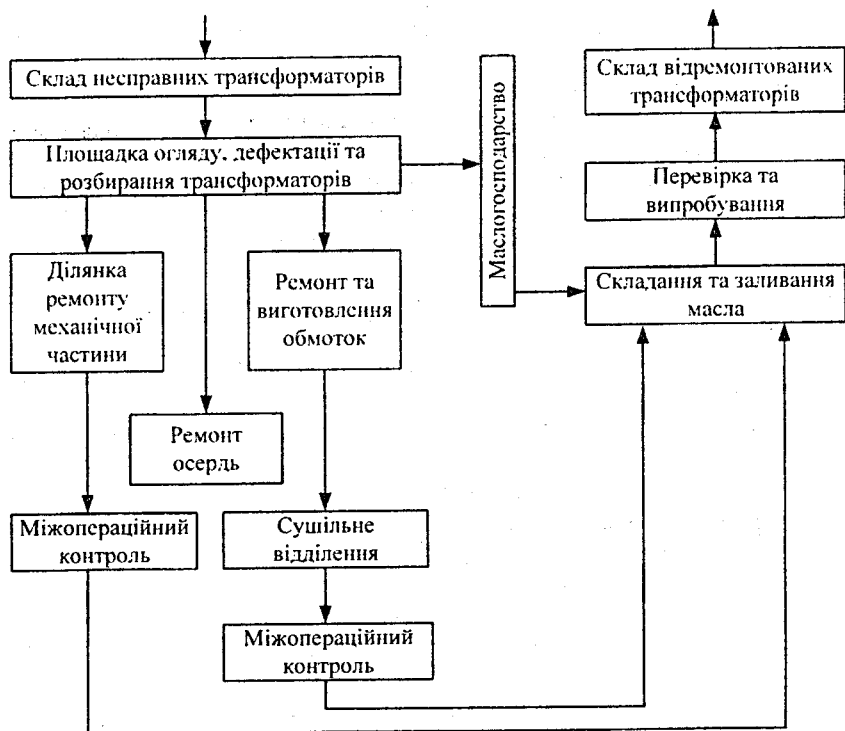


Рисунок 1.3 – Типова структурно-технологічна схема ремонту трансформаторів

## 1.6 Структура центральної електротехнічної лабораторії

Якщо ремонтні цехи входять до складу великого галузевого підприємства (машинобудівельний, металургійний, електротехнічний завод тощо), то в їх складі або не залежно від них повинна бути передбачена центральна електротехнічна лабораторія. Персонал лабораторії бере участь у проведенні поточного обслуговування та ремонту електричних машин і трансформаторів. До складу цієї лабораторії зазвичай входять такі підрозділи.

*Лабораторія електричних вимірювань*, в якій здійснюється ремонт та перевірка практично усіх електровимірювальних приладів, що використовуються, та їх перевірка на місці установлення. Вона ж проводить контроль за експлуатацією електровимірювальних приладів на місці установлення.

*Лабораторія електротехнічних вимірювань*, в якій проводяться післяремонтні та експлуатаційні випробування трансформаторів і високовольтних двигунів, реакторів та вентилях розрядників, профілактичні випробування ізоляції високовольтних апаратів, комплектих розподільних улаштувань та високовольтних кабельних ліній. Тут також проводяться випробування усіх пристроїв захисту електротехнічних установок, вимірювання опору заземлювальних пристроїв та контроль за якістю трансформаторного масла, рідинних негорючих діелектриків та інших ізоляційних матеріалів.

*Лабораторія електричного приводу*, в якій досліджуються режими роботи електродвигунів та перевіряється дія їх захистів. Крім того, співробітники цієї лабораторії беруть участь в пусконаладжувальних роботах, розробляють і здійснюють заходи щодо впровадження на підприємстві нової техніки, заміни морально застарілого обладнання та його модернізації. Вони також проводять налагоджування обладнання після ремонту.

*Лабораторія промислової електроніки*, в якій здійснюється ремонт та налагоджування електронного обладнання, яке використовується на підприємстві, включаючи контроль за роботою силових напівпровідникових пристроїв та систем керування. Тут також можуть проводитися роботи з контролю та налагоджування систем дистанційного управління, сигналізації та вимірювань, а також з розробки оптимальних режимів контролю та управління.

*Лабораторія релейного захисту та автоматики*, в якій здійснюється перевірка усіх видів пристроїв релейного захисту та мережевої автоматики, які встановлено на підстанціях та в розподільній мережі підприємства. Тут розробляють програми з введення нових об'єктів електропостачання та ремонту діючих установок, виготовляють та ремонтують комплектні пристрої, які використовуються для перевірок роботи обладнання.

В цій лабораторії випробовують нові захисні пристрої та проходять перевірку встановлені на підприємстві електровимірювальні прилади та лічильники.

*Пусконаладжувальна лабораторія*, в якій здійснюється контроль за результатами налагоджування нового або відремонтованого електричного та електромеханічного обладнання, якщо воно проводиться сторонніми організаціями, або самостійне налагоджування цього обладнання, якщо участь сторонніх організацій в налагоджуванні не передбачається.

*Лабораторія режимів електропостачання*, в якій збирають та аналізують дані роботи систем електропостачання, освітлення та електроприводу, а також визначають та контролюють раціональні режими живлення цехів підприємства та окремих великих енергетичних об'єктів. В цій лабораторії розробляють та здійснюють заходи щодо мінімізації втрат електроенергії та оптимальної роботи пристроїв компенсації реактивної потужності.

На підприємствах електротехнічного профілю, як правило, створюється *лабораторія надійності*, в якій збирають та обробляють дані про відмови електротехнічного обладнання, а також виявляють причини цих відмов.

Крім розглянутих задач центральна електротехнічна лабораторія контролює графік навантаження, здійснює нагляд за правильною та безпечною експлуатацією усіх високовольних установок підприємства, бере участь в складанні та реалізації угоди електропостачання з місцевою електроенергетичною системою.

### Контрольні запитання

1. Що таке ремонтний цикл і як визначається його тривалість?
2. Яка структура ремонтного циклу?
3. В чому полягають переваги і недоліки різних форм організації ремонту?
4. В чому вимірюється річна програма електроремонтного підприємства та як вона визначається?
5. Як розрахувати трудомісткість ремонту електричної машини?
6. Які основні види робіт здійснюються при ремонті електричних машин?
7. Яке основне обладнання встановлюється в кожному виробничому підрозділі?
8. Які особливості ремонту трансформатора і як вони впливають на організацію ремонту?

## 2 ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТУ

Залежно від маси та розмірів, а також від характеру ремонту електричні машини і трансформатори або ремонтуються на місці, або відправляються на ремонтне підприємство. Взаємні зобов'язання замовника і ремонтного підприємства регламентуються в технічних умовах ремонту.

Прийом в ремонт здійснюється за актом, в якому крім паспортних даних та попереднього об'єму ремонту вказуються технічні вимоги, яким повинно задовольняти обладнання після здійснення ремонту: потужність, напруга, енергетичні показники тощо. В ремонт приймаються тільки укомплектовані електричні машини і трансформатори, які мають всі основні вузли та деталі, включаючи старі обмотки. Усі з'єднання та установчі деталі повинні бути демонтовані замовником. Як правило, не ремонтуються машини з розбитими корпусами та підшипниковими щитами і зі значним (більше 30%) пошкодженням магнітопроводів.

Ремонт повинен бути виконаний якісно, щоб після цього був забезпечений необхідний рівень експлуатаційної надійності, а технічні показники відповідали стандартам і нормам.

### 2.1 Ремонт електричних машин

*Технічні умови ремонту.* Відремонтована машина забезпечується усіма необхідними деталями, включаючи при необхідності з'єднувальні і установчі, а камери підшипників кочення заповнюються мастилом. Поверхні корпусу і підшипникових щитів покривають фарбою, а кінці валів — консерваційним мастилом.

Після проведення післяремонтних випробувань ремонтне підприємство повинно гарантувати безвідмовну роботу машини протягом одного року при дотриманні умов транспортування, збереження та експлуатації.

Вихідні кінці обмоток маркують відповідно до стандарту, а на корпус машини встановлюють новий щиток, де вказують підприємство, яке проводило ремонт, дату випуску з ремонту та технічні дані машини відповідно до стандартів.

На ремонтних підприємствах існують технологічні карти ремонту електричних машин, які складаються у вигляді таблиць, в яких наведені номери і зміст усіх технологічних операцій, технічних умов і вказівок з проведення ремонту. В них також приводяться дані про пристосування і обладнання, які необхідні для ремонту, та норми часу на проведення окремих операцій.

*Поточний ремонт.* Цей вид ремонту використовується для машин, які знаходяться в експлуатації або в резерві, в терміни, встановлені графіком ППР. Поточний ремонт проводиться на місці установлення електричної машини з її зупинкою і відключенням силами обслуговуючого електротех-

нічного персоналу. Якщо для проведення поточного ремонту виникає потреба в спеціальних складних пристосуваннях та значному часі, то він проводиться силами персоналу електроремонтного або спеціалізованого підприємства.

В процесі ремонту виконуються такі роботи [2, 6]:

- чищення зовнішніх поверхонь машини;
- перевірка стану підшипників кочення, їх промивання та заміна (у випадку збільшених радіальних ушілень);
- перевірка роботи змащувальних кілець та системи примусового змащування в підшипниках ковзання;
- огляд та чищення вентиляційних каналів, обмоток статора і ротора, колекторів і контактних кілець;
- перевірка стану кріплення лобових частин обмоток та бандажів;
- усунення місцевих пошкоджень ізоляції та виявлених при огляді дефектів;
- сушіння обмоток та покриття їх при необхідності емалями;
- шліфування контактних кілець і колекторів (при необхідності їх продорожування);
- перевірка і регулювання щіткового механізму та систем захисту;
- складання машини, перевірка її роботи на холостому ходу та під навантаженням;
- проведення приймально-здавальних випробувань та здавання в експлуатацію з відповідною відміткою в технічній документації.

**Капітальний ремонт.** Цей вид ремонту використовується для машин, які знаходяться в експлуатації, в терміни, встановлені графіком ППР або за результатами профілактичних (післяоглядових) випробувань. Капітальний ремонт проводиться для відновлення роботоздатності та повного відновлення ресурсу електричної машини з відновленням або заміною усіх зношених або пошкоджених вузлів та заміною обмоток. Ремонт машини нецільний, якщо є значні пошкодження механічних вузлів, які не можна усунути силами ремонтного підприємства.

Типовий об'єм капітального ремонту включає в себе:

- операції поточного ремонту;
- перевірку повітряного зазору між статором і ротором (якщо конструкція машини дозволяє це здійснити);
- перевірку осьового розбігу ротора і зазорів між шийкою вала та вкладишем підшипника ковзання (при необхідності проводиться перезаливання вкладиша);
- повне розбирання машини і миття усіх механічних вузлів та деталей, продування та чищення колектора, контактних кілець, щіткового механізму і не пошкоджених ізоляційних деталей, дефектацію вузлів і деталей;
- ремонт корпусу, підшипникових щитів, магнітопроводів (заварювання тріщин, відновлення різьбових отворів, відновлення замикань між окремими листами осердя статора і ротора, усунення розпушення листів,

відновлення пресування, ремонт вигорілих ділянок зі встановленням протезів);

- ремонт вала (виправлення торцевих отворів, усунення прогинів, відновлення посадочних отворів та шпонкових канавок);

- витягнення статорних обмоток, виготовлення та укладання нових обмоток з круглого проводу, ремонт або виготовлення нових обмоток з прямокутного проводу та їх укладання, складання і паяння (зварювання) електричних схем, просочування та сушіння обмоток, нанесення на лобові частини покривних емалей;

- складання та оздоблення машини, проведення приймально-здавальних випробувань.

При капітальному ремонті здійснюють заміну підшипників кочення, які відпрацювали свій ресурс (незалежно від їх стану). Рішення про використання підшипників, які відпрацювали свій ресурс, приймається після їх дефектації. При цьому потрібно пам'ятати, що збиток від можливої відмови підшипника та пов'язаної з цим відмови (зупинки) двигуна суттєво більший вартості самого підшипника.

Обмотки з круглого проводу та низьковольтної обмотки з прямокутного проводу при ремонті, як правило, повторно не використовують, оскільки витягнути такий провід без пошкодження практично не можливо. Після видалення вони передаються на переплавку. Високовольтні обмотки з прямокутного проводу можуть використовуватись повторно після заміни виткової і корпусної ізоляції.

## 2.2 Ремонт трансформаторів

За об'ємом ремонтних робі розрізняють: поточний (експлуатаційний) ремонт, капітальний ремонт без заміни обмоток, капітальний ремонт з заміною обмоток, але без ремонту магнітної системи, капітальний ремонт з заміною обмоток і частковим або повним ремонтом магнітної системи.

Ремонт за типовою номенклатурою називають *ревізєю*. При ревізії активну частину трансформатора виймають з бака (або піднімають знімну частину бака) і без розбирання активної частини (розшихтування магнітопроводу та знімання обмоток) виконують її огляд (ревізію). Крім того, виконують цілу низку інших обов'язкових робіт, в які входять: обробка масла, заміна сорбентів, ущільнень, а в деяких випадках – сушіння активної частини і контрольні випробування.

За призначенням ремонт може бути планово-попереджувальним (профілактичним) та післяаварійним, як і при ремонті електричних машин. Періодичність їх проведення залежить від результатів профілактичних випробувань та наявності дефектів, які виявлено в процесі експлуатації та при зовнішньому огляді трансформатора. Крім того, у зазначені терміни передбачається розкриття головних трансформаторів електростанцій та підстанцій, через які передається основна частина електроенергії, і трансфо-

маторів власних потреб підстанції. Розкриття здійснюють через вісім років після введення трансформаторів в експлуатацію (незалежно від термінів та об'ємів ремонту, які наведено в додатку А). Трансформатори розкривають та оглядають також після тривалого транспортування до місця установлення. Планово-попереджувальний капітальний ремонт виконують за порівняно не тривалий час.

Терміни виконання післяаварійного ремонту визначаються такими обставинами: можливістю заміни трансформатора, наявністю резерву, категорією споживачів, яким трансформатор постачає електроенергію тощо. Капітальний ремонт із заміною обмоток і ізоляції, переізолюванням електротехнічної сталі потребує значних матеріальних, трудових затрат і часу.

За характером робіт, які виконуються, виділяють: відновлювальний ремонт, реконструкцію і модернізацію трансформаторів. При відновлювальному ремонті параметри трансформатора і конструкція вузлів та деталей не змінюється. При реконструкції параметри трансформатора зберігаються, а конструкція ряду вузлів змінюється. В процесі модернізації змінюють параметри трансформатора і, як правило, окремі частини конструкції.

**Поточний ремонт** призначений для перевірки стану обмеженої кількості вузлів і деталей, що швидко зношуються, і відносно нескладних в ремонті, з усуненням виявлених дефектів, щоб забезпечити безвідмовну роботу трансформатора до наступного планового (поточного або капітального) ремонту. При поточному ремонті виконується огляд та чищення вузлів і деталей (як правило, відносно легкодоступних), в тому числі забрудненої зовнішньої ізоляції, ліквідація невеликих дефектів, заміна неосновних вузлів і деталей, а також вимірювання, випробування та огляди з метою виявлення та уточнення робіт, які потрібно виконати в ході капітального ремонту.

Поточний ремонт також включає комплекс робіт з нагляду за трансформаторним маслом: спускання бруду і конденсату з розширювача, перевірка маслопоказжчика та доливання при необхідності масла в розширювач, перевірку і заміну сорбенту в термосифонному (адсорбційному) фільтрі та осушувачі повітря. Аналогічні роботи виконують на маслонаповнених ввадах.

В ході ремонту здійснюють очищення зовнішніх поверхонь бака і кришки, перевірку спускних кранів і ущільнень, цілість мембрани вихлопної труби і запобіжного клапану, оглядають охолоджувальні пристрої, виконують чищення їх зовнішніх поверхонь, перевіряють та змащують підшипники вентиляторів, електродвигунів і насосів. Оглядають і перевіряють пристрої регулювання під навантаженням (привод, контактор), а також перемикач регулювання без збудження, перевіряють пристрої релейного захисту, прилади контролю температури і тиску масла, систему азотного захисту, відповідні вторинні кола.

Одночасно з поточним ремонтом трансформатора здійснюють перевірку та опробування пристроїв його захисту та автоматики, в тому числі ав-

томатики та сигналізації систем охолодження і пожежогашіння. В ході поточного ремонту виконують випробування ізоляції та контактних з'єднань, в тому числі опору контактів перемикачів відгалужень (на всіх положеннях).

Потрібно зауважити, що при поточному ремонті опір ізоляції трансформаторів вимірюють в тих випадках, коли не потрібна розшировка трансформатора. Опір ізоляції вимірюють при випробуваннях, які проводять для оцінювання стану трансформатора при появі ознак несправності.

Оцінювання стану ізоляції при поточному ремонті трансформатора здійснюється в такому ж об'ємі, як при введенні його в експлуатацію. Зазвичай суміщають визначення характеристик ізоляції трансформатора та його вводів.

При проведенні планового *капітального ремонту* велике значення надається умовам розкриття активної частини. В цьому випадку тривалість ремонту невелика і якщо ізоляція трансформатора не зволожена, сушіння активної частини в об'єм ремонту не входить.

Зараз для виключення зволоження ізоляції при розгерметизації та зливанні масла використовується технологія, яка дозволяє подовжити час знаходження активної частини без масла до 100 годин. Технологія полягає в подаванні в бак трансформатора підсушеного повітря з відносною вологістю не вище 20%. Для отримання сухого повітря використовують спеціальну установку, яка має цеолітові адсорбенти та підігрівач повітря. Установки також може бути використана для підсушування ізоляції.

Силкові трансформатори в залежності від потужності і класу напруги поділяються на групи (габарити) від I до VIII, кожна група містить трансформатори, які достатньо близькі за масою і габаритними показниками (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Габарити силових трансформаторів

Габарит	I	II	III	IV
Напруга $U_{ВН}$ , кВ	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$
Потужність $S_n$ , кВА	$\leq 100$	100÷1000	1000÷6300	>6300
Габарит	V	VI	VII	VIII
Напруга $U_{ВН}$ , кВ	$\leq 110$	$\leq 330$	$\leq 330$	> 330
Потужність $S_n$ , кВА	$\leq 32000$	32000÷80000	80000÷200000	>200000

При капітальному ремонті трансформаторів потужністю більше 32 МВА і класів напруги вище 110 кВ (IV÷VIII габаритів) затрати, які пов'язані з транспортуванням, можуть набагато перевищувати вартість ремонту. Тільки конкретне техніко-економічне обґрунтування дозволяє вирішити питання про метод ремонту у кожному випадку.

Однак частіше за все крупні трансформатори ремонтують безпосередньо на підстанціях, які мають вежі з вантажопідйомними пристроями, а на електричних станціях – в машинних залах, обладнаних мостовим краном потрібної вантажопідйомності. Ремонт виконується спеціалізованим ремонтним підприємством, персонал якого виїздить до місця установаження трансформатора. Однак такі роботи, як перемонтування та виготовлення обмоток, ремонт головної ізоляції, переізолювання пластин магнітної системи та ціла низка інших, проводяться в спеціалізованих майстернях.

Капітальний ремонт трансформаторів I-III габаритів та частково IV габариту здійснюють, як правило, на спеціалізованих ремонтних підприємствах хоча в більшості випадків використовується індивідуальний метод ремонту, сучасні ремонтні підприємства організовують його виконання в умовах, максимально наближених до заводських за рівнем організації та обладнання, що використовується.

### 2.3 Передремонтні випробування електричних машин

Передремонтні випробування проводять з метою визначення характеру дефектів електричних машин, які поступили в позаплановий ремонт. Крім того, на практиці зустрічаються випадки, коли справна машина з помилки обслуговуючого персоналу відправляється в капітальний ремонт. Для машини малої потужності випробування проводять в такій послідовності [2, 9]:

- визначення стану машини шляхом зовнішнього огляду;
- визначення (вимірювання) опору ізоляції обмоток;
- визначення опору обмоток постійному струму;
- перевірка легкості обертання вала машини від руки;
- перевірка роботи на холостому ходу.

При позитивних результатах перевірок машину піддають приймально-здавальним випробуванням і, якщо вона їх витримує, відправляють назад в експлуатацію.

Крупні електричні машини перед плановим капітальним ремонтом випробовують на місці установаження. Об'єм випробувань встановлюється в залежності від конструкції машини, а також вимог та умов її експлуатації. Випробування включають в себе:

- вимірювання вібрації на холостому ходу та при різних навантаженнях;
- визначення температури окремих вузлів машини (обмотки, магнітопроводу, підшипників);
- визначення підшипникових струмів тощо.

Після зупинки машини вимірюють опір ізоляції, величину повітряного зазору, биття контактних кілець та колектора. Особливу увагу при цьому звертають на вузли, які при ремонті не розбираються. Отримані дані порі-

внюють з даними випробувань, які були отримані після попереднього ремонту.

До виведення в ремонт крупних електричних машин відповідно до норм ПЕЕС необхідно [2]:

- скласти відомість об'єму робіт та кошторис, які уточнюються після розкриття і огляду машини;
- скласти графік ремонтних робіт;
- заготовити необхідні матеріали та запасні частини;
- скласти та затвердити технічну документацію на реконструкцію або модернізацію і підготувати необхідні для цього матеріали;
- укомплектувати і привести в справний стан необхідний інструмент та підйомно-транспортні механізми;
- підготувати робочі місця та спланувати ремонтні майданчики для виробництва ремонтних робіт;
- укомплектувати та проінструктувати ремонтні бригади.

Ремонтні майданчики призначені для перевантаження і розташування збірних деталей, ремонтних пристосувань та оснащення, а також для виконання ремонтних операцій. Вони повинні бути електрифіковані та знаходитись в зоні дії вантажопідйомного механізму.

Якщо для проведення ремонтних робіт необхідно знімати машину з фундаменту та від'єднувати її від приводного механізму, то такий ремонт доцільно виконувати в умовах спеціальної ремонтної майстерні (ремонтного підприємства).

### Контрольні запитання

1. Які вимоги висуваються до якості ремонту електричних машин і трансформаторів?
2. Що входить в об'єм їх поточного ремонту?
3. Що входить в об'єм капітального ремонту електричних машин?
4. Навести класифікацію капітальних ремонтів трансформаторів.
5. Яка послідовність передремонтних випробувань електричних машин?

## 3 РОЗБИРАННЯ ТА ДЕФЕКТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

При дефектації здійснюють візуальний огляд вузлів та деталей машин, проводять необхідні вимірювання та випробування, визначають цілісність окремих деталей та збиральних одиниць, стан робочих поверхонь для встановлення об'єму необхідного ремонту. Якщо складальна одиниця не має пошкоджень, її розбирання не виконують. Розбирання повинно проводитись з використанням спеціального інструменту, щоб не пошкодити деталі та збиральні одиниці.

### 3.1 Розбирання електричних машин

Перед зняттям шківів, півмуфт, шестерні та інших з'єднувальних деталей з вала машини, потрібно викрутити стопорний гвинт або вибити шпонку, які фіксують з'єднувальну деталь з валом. Місце посадки заливають гасом або антикорозійною рідиною для усунення корозії в місці контакту. При знятті цих деталей використовують дво- або трипалчаті знімачі (переносні ручні або гідравлічні). Для зняття з'єднувальних деталей, які мають аксіальні отвори, можна використовувати знімач з траверсою. При знятті великих деталей, де потрібні великі зусилля, використовують гідравлічні знімачі.

В ряді випадків для зменшення потрібних для знімання деталі зусиль здійснюють нагрівання деталі. Для зменшення нагрівання вала його обгортають змоченим у воді азбестовим картоном, а нагрівання проводять інтенсивно одним або двома пальниками, починаючи від краю деталі в напрямку ступиці. Температуру деталі можна контролювати періодичним дотиком прута з олова, температура плавлення якого біля 250 °С. В процесі нагрівання уважно наглядають за початком зсуву деталі, оскільки на неї діють великі зусилля від знімача. Для нагрівання деталі можна використовувати струм високої частоти, при якому вал практично не нагрівається.

Як приклад розглянемо процес розбирання асинхронного двигуна закритого виконання IP44. Розбирання виконується в такому порядку:

- від'єднують двигуни від електричної мережі та заземлювального проводу;
- від'єднують двигун від приводного механізму та знімають його з фундаменту;
- знімають шків або півмуфту за допомогою знімача;
- знімають шпонку;
- знімають кожух вентилятора;
- знімають вентилятор;
- викручують болти, які кріплять підшипникові щити до корпусу, та знімають задній підшипниковий щит, легко ударяючи по ньому молотком з м'якого матеріалу (дерево, пластмаса, мідь);

- виймають ротор зі статора, для чого легким поштовхом зсовують ротор в сторону переднього підшипникового щита та виводять щит із замка;
- підтримують ротор за вал, виводять його зі статора, не допускаючи пошкодження лобових частин обмотки статора та крильчатки ротора;
- знімають передній підшипниковий щит, легко ударяючи по ньому молотком з м'якого матеріалу;
- знімають за допомогою знімача підшипники, якщо необхідна їх заміна.

Ротор невеликої маси виводять зі статора руками, підтримуючи його з двох сторін. Більш великий ротор виводять зі статора за допомогою спеціального пристосування.

На електроремонтних підприємствах для розбирання двигунів з високою осі обертання 112–280 мм (3–9 габарити) використовують спеціальний стенд для розбирання двигунів.

На всі деталі та вузли чіпляють бірки з одним ремонтним номером двигуна та направляють статор на ділянку витягнення обмотки, а інші вузли та деталі – на миття. Якщо ротор має фазну обмотку, то його направляють сумісно зі статором на ділянку витягнення обмотки.

Технологія розбирання будь-якої крупної електричної машини з підшипниками ковзання має свої специфічні особливості, які пов'язані з її конструкцією, місцем установлення, наявністю вантажопідйомних механізмів тощо. Тому тільки наведемо загальні операції з розбирання крупних машин.

При розбиранні вимірюють [6]:

- повітряний зазор між ротором та статором в чотирьох точках (через 90°) з обох сторін;
- радіальні зазори в підшипниках та натяги кришок підшипників на вкладиші; радіальні зазори між радіатором та дифузором;
- зазори в ущільненнях вала та в маслоуловлювачах;
- збіг магнітних осей статора та ротора;
- осьовий розбіг ротора та уклін вала ротора.

Результати вимірювань заносять в формуляр, проводять передремонтні випробування і приступають до розбирання машини. Знімають зовнішні та внутрішні щити та дифузори, в повітряний зазор під ротор заводять лист електрокартону та після розбирання опорних підшипників опускають ротор на статор. Після цього знімають півмуфти або шестерні, підігріваючи їх при необхідності, виконують зачищення посадочних поверхонь і визначають натяг.

Щоб не пошкодити обмотки статора при виведенні ротора, їх закривають листами з пресшпану або гуми. Ротор витягають за допомогою вантажопідйомних механізмів та спеціальних скоб (для роторів масою до 500 кг), які придатні для роторів машини до 19 габариту включно.

Після розбирання деталі та вузли крупних електричних машин декілька разів потрібно протерти серветками, які змочені в бензині.

### 3.2 Вилучення обмотки з круглого проводу

Вилучення обмотки починається з обрізання лобової частини. При цьому обмотка витягається з пазів найбільш економічним способом при зберіганні осердя. Обрізання однієї лобової частини здійснюють на токарних верстатах або на спеціальних верстатах:

- моделі СО-3М: для машин з висотою осі обертання  $50 \div 100$  мм;
- моделі СЦО-2: для машин з висотою осі обертання  $100 \div 280$  мм.

Використання верстатів підвищує продуктивність праці в порівнянні з ручним обрізанням. Щоб запобігти затягуванню проводу та створенню мідної стружки при обрізанні, бажано використовувати фрези або ножові різьки.

Щоб вилучити обмотку з пазів без пошкодження осердя, необхідно послабити зчеплення обмотки з останнім шляхом послаблення пазової ізоляції. Це можна здійснити випалюванням ізоляції або її розм'якшуванням.

Метод *випалювання ізоляції* дуже розповсюджений та використовується для машин з чавунними і сталевими корпусами (для машин з алюмінієвими корпусами цей метод не використовують, оскільки при цьому змінюються розміри корпусу та послаблюється посадка осердя). Корпус машини встановлюють в печі горизонтально, оскільки при вертикальному установленні може відбутися зсув осердя відносно корпусу через послаблення пресування. При випалюванні ізоляції обмоток роторів, які мають контактні кільця, останні попередньо демонтуються. Пазова ізоляція при випалюванні втрачає свою механічну міцність. Випалювання здійснюється в печі при температурі  $350$  °С протягом  $4 \div 6$  год. Збільшувати температуру випалювання понад вказаної не потрібно, оскільки це може призвести до порушення міжшарової ізоляції осердя та погіршення їх магнітних властивостей.

Печі обладнуються витяжною вентиляцією для видалення шкідливих газів, які створюються при випалюванні і які потім допалюються або нейтралізуються. Випалювання ізоляції супроводжується значними викидами шкідливих токсичних речовин в атмосферу. За даними ВЕІ при щорічному ремонті  $5000$  електричних машин змінного струму потужністю до  $100$  кВт на електроремонтному підприємстві спалюється майже  $6$  т електроізоляційних матеріалів. В середньому на одну капітально відремонтовану машину спалюється  $1,2$  кг лаків та інших ізоляційних матеріалів. При цьому гранично допустимі концентрації за  $12$  складовими викидів перевищуються в  $2-5$  разів.

Після витягнення з печі статор охолоджують до температури  $50 - 60$  °С та передають на верстат для видалення обмотки.

Більш економічним є метод *розм'якшення пазової ізоляції*. Розм'якшення можна здійснювати або шляхом нагрівання осердя або хімічним шляхом. При використанні методу високочастотного нагрівання тепло, яке виділяється в осерді, передається пазовій ізоляції через лакову

плівку і далі через просочувальний лак до провідників обмотки. При інтенсивному нагріванні температура лаку між пазовою ізоляцією та осердям виявляється вищою, ніж між пазовою ізоляцією та провідниками. Тому при подальшому витягуванні обмотки в гарячому стані вона виходить з пазів разом з пазовою ізоляцією, залишаючи пази чистими та не потребує додаткового очищення.

На рис. 3.1 показана високочастотна установка типу ВЧИ-63/0,44, яка працює в діапазоні частот 429–451 кГц. Електрична потужність установки дорівнює 63 кВт, середня продуктивність – 160 статорів в зміну.

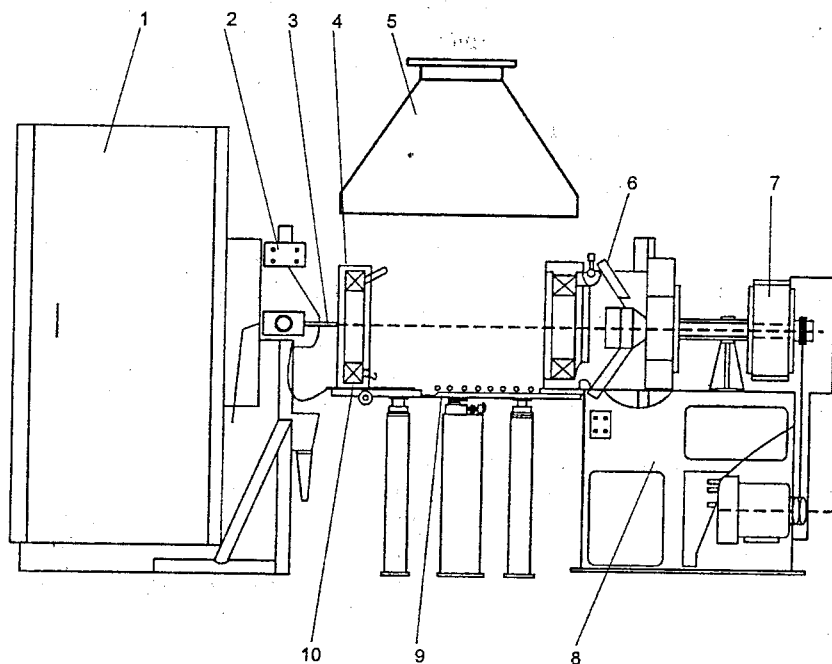


Рисунок 3.1 – Високочастотна установка для розігрівання та витягнення обмотки статора:

- 1 – генератор; 2 – пульт управління; 3 – затискувач; 4 – статор;
- 5 – витяжний парасоль; 6 – гачки; 7 – пневмоциліндр; 8 – механізм витягання; 9 – рольганг; 10 – індуктор

Установка може працювати в ручному та в автоматичному режимі. Перед початком роботи установку налагоджують на партію однотипних статорів з рівними або близькими внутрішніми діаметрами та довжинами осердя, відповідно до розмірів яких підбирають індуктори. Повітряний зазор між індуктором і осердям повинен бути мінімальним.

Послідовність високочастотного нагрівання наступна. Вибраний індикатор 10 встановлюють в затискач 3 і підключають до нього контур водяного охолодження (температура води дорівнює 5–30 °С, надлишковий тиск – 0,2–0,05 МПа, жорсткість – не більше 8,5 мг-екв/л, питомий електричний опір – не менше  $4 \cdot 10^5$  Ом/м). Якщо вода не задовольняє ці вимоги, то необхідно створити замкнену систему охолодження дистильційною водою. Після настроювання подають охолоджену воду та переконуються в правильній роботі системи охолодження (циркуляція води). Подають напругу та прогрівають установку протягом 30 хв.

На стіл встановлюють статор 4 та вводять в нього індуктор 10 так, щоб він не торкався осердя. На пульті управління 2 натискають кнопку «Нагрів». Нагрівання осердя до потрібної температури здійснюється за декілька секунд. Нагрітий статор пересувається по рольгангу 9 до механізму 8, де витягається обмотка. Видалення обмотки здійснюється за допомогою гачків 6, які приводяться в дію пневмоциліндром 7. Живлення установки здійснюється від високочастотного генератора 1, а для видалення пилу і газів установка має витяжну вентиляцію з парасоллю 5.

Для *хімічного розм'якшення* пазової ізоляції осердя з обмоткою розташовують на 6–8 год у ванну с 10% розчином їдкою натру (каустична сода), підігрітого до температури 80–90 °С. Після витягання з ванни зчеплення обмотки з осердям різко зменшується, що дозволяє видалити її без великих механічних зусиль. Після цього осердя промивають в проточній воді і висушують. Даний метод трудомісткий та потребує великих витрат води і нейтралізації розчинів, які отримуються при промиванні, тому що їх не можна зливати в каналізацію.

В ВЕІ був розроблений *метод гідролітичної деструкції сполучного* (ГДС) для розм'якшення ізоляції. При використанні цього методу сполучна речовина переходить в розм'якшений стан і обмотка легко виймається з пазів статора. Збільшення кількості домішок, які розчинено в гідролізуючому водному розчині при десятикратному використанні, збільшується лише до 0,7% і не містить токсичних складових.

Розкладення ізоляції при використанні цього методу проходить в насиченому водному розчині вуглекислоти, яка подається в автоклав вертикального або горизонтального виконання, який забезпечує герметичність при тиску 1,5 МПа та температурі 180 °С. Витрати вуглекислоти складають 6 г/л. Параметри виробничого процесу (температура, тиск, тривалість) залежать від класу нагрівостійкості ізоляції, типу сполучного та форми пазів, в які вкладає обмотка.

*Видалення обмотки* з пазів осердя в невеликих машинах виконують вручну за допомогою гачків, якими захоплюється необрізана лобова частина обмотки. З осердя більш великих машин обмотку видаляють на спеціальних верстатах. Наприклад, продуктивність верстата типу УПО-1 складає 180 статорів за зміну.

Після видалення обмотки очищують пази від залишок ізоляції за допомогою напилку, а осердя направляють на миття. Якщо при ремонті відсутні дані про обмотку (діаметр проводу, кількість елементарних провідників в одному ефективному, кількість полюсів, довжина лобової частини, крок обмотки, кількість пазів на полі та фаза тощо), то після видалення обмотки декілька котушок закріплюють до статора і за ними уточнюють відсутні дані.

### 3.3 Розбирання обмоток з прямокутного проводу

До обмотки з прямокутного проводу належать обмотки фазних роторів асинхронних двигунів, статорні обмотки крупних асинхронних машин, якірні обмотки та обмотки збудження синхронних машин і машин постійного струму.

*Видалення стержневої обмотки фазних роторів асинхронних машин.* При видаленні стержнів у роторів, на які відсутня технічна документація (дані про обмотку, геометричні розміри), здійснюють їх огляд, необхідні вимірювання, складають відомість дефектів та визначають дані про обмотку, параметри бандажів, розташування початків та кінців фаз, дані про ізоляцію тощо. В процесі розбирання на роторі маркують пази (номери), в яких розташовано початки та кінці фаз.

Розбирання починають зі зрізання бандажів зі склострічки або розпакування бандажів зі сталюого дроту. Розпакування здійснюють електродувовим паяльником, а звільнений бандажний дріт намотують на барабан. Потім розпакують хомутики, які з'єднують кінці стержнів в лобових частинах, знімають та зачищають їх від припою. Одночасно зачищають від припою і кінці стержнів. Потім за допомогою спеціальних ключів розгинають стержень в двох місцях, інакше його неможливо буде витягнути з паза. Одним ключем тримають стержень, а іншим здійснюють розгинання.

Видалення стержнів з пазів потребує значних зусиль, тому для цього використовують спеціальне пристосування, яке показано на рисунку 3.2. Його закріплюють на валу 6 хомутом 5, потім закріплюють в затискачі 2 кінець стержня 1. Обертаючи гвинт 4, витягують верхній стержень з паза, запобігаючи пристосування від зсуву розпіркою 3. Після видалення всіх верхніх стержнів видаляють нижні стержні.

Пази осердя, натискувальні шайби та обмоткотримачі очищують від старої ізоляції. Перевіряють якість пазів, для чого в пази встановлюють один шар електрокартону товщиною 1,1 мм та проганяють через паз клин, який виготовлено за формою і розміром паза з урахуванням товщини електрокартону. Після прогонки клину витягають гільзу і за величиною і кількістю судять про несправність пазів, яку виправляють дорнуванням. Витягнені осердя відправляють в обмоткове відділення для відновлення ізоляції.

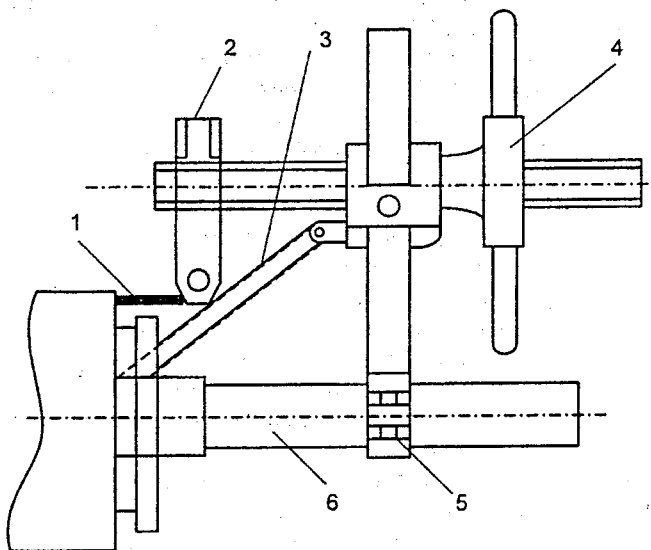


Рисунок 3.2 – Пристосування для видалення стержнів з пазів ротора:  
 1 – стержень; 2 – затискач; 3 – розпірка; 4 – гвинт; 5 – хомут; 6 – вал

**Видалення якірної обмотки машин постійного струму.** Перед розбиранням здійснюють запис необхідних для ремонту обмоткових даних. Розбирання починають з розпаювання (видалення) бандажів та відпаювання кінців обмотки від колектора. Якщо обмотка з'єднана з колектором зварюванням, то воно вилучається на токарному верстаті (зварювання здійснюється, як правило, з торця півників на глибину 2–4 мм).

Якщо обмотка кріпилася в пазах клинами, їх попередньо вибивають. Спочатку видаляють з пазів верхні сторони котушок, потім видаляють міжфазову ізоляцію та виймають нижні сторони котушок. При видаленні під котушки підводять кіперну або лавсанову стрічку, за допомогою якої витягують котушку з паза, не деформуючи її. По мірі розбирання записують дані порівнювальних з'єднань та їх схему. Пази якоря зачищають від залишків ізоляції, перевіряють їх справність та відправляють необмотаний якір на мигтя.

В тих випадках, коли стан ізоляції задовільний, а дефект є лише в верхній стороні однієї або декількох котушок обмотки, його усувають без повного розбирання обмотки. Для цього знімають бандаж, розпаюють або вирубають гострим зубилом місця з'єднання котушки з колектором та виймають пошкоджену верхню сторону котушки. Після заміни пошкодженої ізоляції відремонтовану сторону котушки укладають назад в паз, з'єднують її з колектором та відновлюють зняті бандажі.

Пошкоджений мідний провід наварюють мідно-фосфатним припоем, захищають та ізолюють. При наявності пошкодження проводу потрібно уважно оглянути паз, в якому він знаходився, для визначення причини пошкодження та виведення машини з ладу.

**Видалення високовольтної котушкової обмотки.** Така обмотка розташовується у відкритих пазах. А котушки мають термопластичну або термореактивну ізоляцію. У обмоток з термопластичною ізоляцією роз'єднують котушкові групи і перед вийманням нагрівають. Для нагрівання використовують зварювальні генератори постійного струму, які дозволяють забезпечити необхідний струм величиною  $0,4 \div 0,6$  від номінального значення. Форсувати нагрівання котушок не можна, тому що це може призвести до розбухання ізоляції. При нагріванні термопластична ізоляція розм'якшується та стає еластичною.

З пазів вибивають клини, обрізають кріплення обмоток до бандажних кілець та між собою, зберігаючи при цьому міжкотушкові прокладки в лобових частинах. Котушки виймають з пазів за допомогою стрічок (рис. 3.3), а для полегшення виймання між верхньою та нижньою котушками забивають дерев'яні або пластмасові клини. Верхні сторони перших котушок, кількість яких дорівнює кроку обмотки по пазах, залишають в розточці статора, тому що їх нижні сторони не можна витягати. Потім витягують котушки цілими (і нижні і верхні сторони), останніми витягують нижні сторони перших котушок. Витягнуті котушки відправляють на переізолювання та проводять дефектацію осердя.

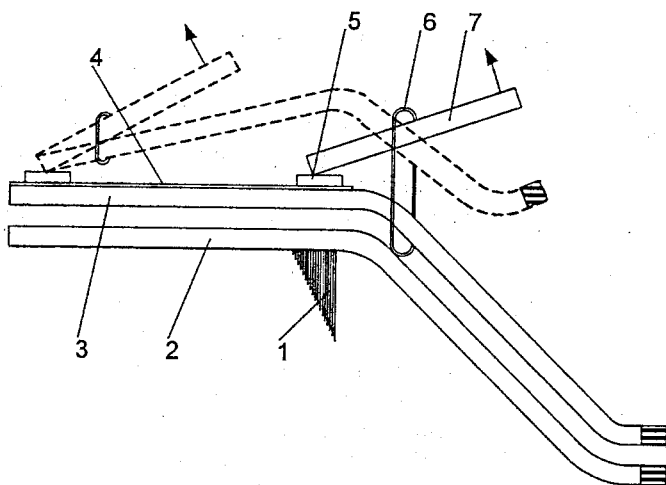


Рисунок 3.3 – Видалення котушок з пазів статора:

1 – осердя статора; 2, 3 – нижня та верхня сторони котушок;  
4 – розточка статора; 5 – ізоляційна прокладка; 6 – петля; 7 – важіль

Для обмоток з термореактивною ізоляцією витягнення котушок можливе лише при використанні розглянутого раніше методу ГДС. Демолімеризація проводиться в перегрітих водних розчинах в автоклаві при температурі 120–200 °С та тиску 0,4–2,0 МПа. Альтернативним цьому методу є лише випалювання в термічних печах або струмами високої частоти.

### 3.4 Миття деталей та вузлів

Перед дефектацією усі деталі та вузли необхідно очистити від бруду та масел в миючих розчинах, промити у воді та просушити. При митті дуже ефективні миючі синтетичні препарати МЛ-51, МЛ-52, які добре розчиняються у воді (в тому числі в жорсткій), нетоксичні, негорючі, вибухобезпечні та не викликають опіків шкіри. Ці розчини придатні для чищення деталей з чорних та кольорових металів, включаючи алюміній та його сплави. В баці миючої машини розчин створює із забрудненнями розпадну емульсію, причому масляні забруднення вишлювають нагору розчину, а тверді частини щільністю більше  $1 \text{ г/см}^3$  осідають в нижній частині бака. Швидкість та повнота розшарування емульсії гарантує багаторазове використання однієї порції миючого розчину за замкненим циклом. Тому баки для розчину, гарячої води та відстійників обладнують пристроями для збирання масла з поверхні. Вказані препарати призначаються для струменевого очищення деталей, але можуть використовуватись і для очищення деталей у ваннах.

Струменеве очищення найбільш ефективно проводити в миючих машинах. Так центральне конструкторсько-технологічне бюро (ЦКТБ) електроремонту розробило машину для миття вузлів та деталей електричних машин з висотою осі обертання до 280 мм. Машина складається з мийної камери, двох гідравлічних баків із системами підігріву та фільтрації рідини і насосної станції. До складу камери входять дві півкамери з приводом, підвіска з приводом її обертання і уловлювачем, два контури з системою форсунок та ємність для змивання робочої рідини в процесі миття. Гідравлічні баки складаються з двох однакових ємностей для гарячого миючого розчину та гарячої води, трубопроводу і арматури.

Миття проводять таким чином. Великі деталі підвішують на підвісці, а малі укладають в контейнер, також закріпленний на підвісці. Деталі поступають в миючу машину, розчин, нагрітий до 70–80 °С, обмиває їх через сопла, які коливаються. Підвіска при цьому повільно повертається. Час миття визначається габаритами та ступенем забруднення деталей і займає, як правило 15–20 хв. Після обробки розчином деталі мийють гарячою водою (70 ÷ 80 °С), а потім висушують гарячим повітрям.

Миючий розчин готується безпосередньо в миючій камері (на одну літру води 10–25 г миючого розчину). Заміну миючого розчину проводять приблизно через 10 діб. Препарати МЛ-51 і МЛ-52 при засипанні можуть

створювати «хмару пилу». При розмішуванні розчин може попасти в очі. В цьому випадку потрібно промити очі чистою водою. При розведенні порошку необхідно працювати в захисних окулярах, респіраторі та гумових рукавичках. Руки до ліктів потрібно змастити захисними кремами (використовують силіконовий крем, а також пасти марок ХИОТ-6 та АБ-1).

### 3.5 Дефектація деталей та вузлів електричних машин

*Дефектація необмотаного статора.* При дефектації візуально перевіряють наявність тріщин, сколів та деформацій корпусу, стан різьбових отворів, кріплення осердя в корпусі, наявність розпушення крайніх листів та вигорання окремих листів осердя, наявність корозії. Щільність складення осердя перевіряють шупом товщиною 0,2 мм, який під тиском руки повинен входити між листами осердя не більше ніж на 2–3 мм. Розпушення листів перевіряють шляхом вимірювання штангенциркулем довжини осердя по дну паза і по верхній частині зубців. В осердях довжиною до 100 мм допускається розпушення до 2 мм, а при довжині 101–150 мм – до 3 мм. В двох взаємоперпендикулярних площинах здійснюють вимірювання діаметрів внутрішньої поверхні осердя та замків корпусу, які служать для посадки підшипникових щитів. В машинах загальнопромислового виконання точність обробки замків повинна знаходитись в межах 7–9 квалітетів.

Необмотаний статор бракується і не підлягає ремонту при наявності відколу більше двох лап, наскрізних тріщин в корпусі, вигоранні одного або декількох зубців на довжину більше 50 мм або 1/3 довжини осердя, збільшенні повітряного зазору більше, ніж на 15% (25% – для двополосних машин) і при значному пошкодженні осердя.

*Дефектація необмотаного якоря (ротора).* Перед дефектацією повинні бути відремонтовані центральні отвори вала. Якір (ротор) встановлюють шийками вала на призми і здійснюють його зовнішній огляд, а також вимірюють діаметр осердя для подальшого розрахунку повітряного зазору, вимірюють посадочні міста шийок вала під підшипники і вентилятор, вимірюють биття шийок вала та осердя, перевіряють стан шпонкових пазів і вихідного кінця вала. Після цього оглядають колектор і контактні кільця для виявлення підгарів, підпалів, оплавлень і нерівномірностей вироблення, вимірюють їх биття відносно шийок вала, а також опор ізоляції колектора і контактних кілець.

Поверхні під посадку підшипників повинні мати допуск  $k4 \div k6$ , під посадку вентилятора –  $h6 \div h10$ , під посадку колектора –  $k6 \div k8$ . Дефектація осердя ротора проводиться також як осердя статора.

Якір бракується і не підлягає ремонту, якщо має злом вала в будь-якому перерізі або значне зношування (в результаті корозії, абразивного зношування тощо). Для короткозамкнених роторів асинхронних машин ознакою браку є також обрив литого стержня обмотки.

**Дефектація підшипникових щитів.** В цьому випадку візуально перевіряють наявність тріщин та зламів, стан різбових отворів та напливів, вимірюють посадочні місця під підшипники і замка для посадки в корпус. Поверхня під посадку підшипників повинна мати допуск  $H6 + H7$ , під посадку щита на корпус –  $h6 + h9$ . Ознаками браку є тріщини та відколи в щиті і на посадочні поверхні, а також відкол напливів кріплення.

**Дефектація щіткового вузла.** В ході дефектації візуально перевіряють стан щіткоутримувачів, пружин, вивідних проводів (кабелів) і контактів щіток.

Зазор між щіткою і щіткотримачем не повинен перевищувати  $0,3 \div 0,5$  мм. Перевіряється тиск пружин на щітки, який повинен бути однаковим у всіх щіток і відповідати заданому. Крім того, вимірюють опір ізоляції між щіткотримачем та корпусом.

**Дефектація вентилятора та його кожуха.** В цьому випадку візуально перевіряють цілісність поверхонь, відсутність зламів, ум'ятин і інших механічних пошкоджень. У вентиляторів перевіряють розмір посадочної поверхні під вал, який повинен мати допуск по  $H6 + H9$ .

**Дефектація деталей кріплення.** Шляхом огляду деталей кріплення (болти, шпильки, гайки) перевіряють наявність тріщин, надривів біля головок болтів, деформації шпильок, стан різьби та наявність захисних покриттів. Якість різьби перевіряють різбовими кільцями. Ознаками браку є пошкодження більше 20% ниток різьби, тріщини та надриви у головок болтів, зменшення діаметра шпильок і болтів через корозію більше, ніж на 10%.

### Контрольні запитання

1. Як знімають деталі, які встановлені по посадці з натягом?
2. Як знімають підшипники?
3. В якій послідовності витягають обмотки з круглого проводу?
4. Як витягають з пазів високовольтні обмотки?
5. В чому переваги методу гідролітичної деструкції сполучного ізоляції?
6. Які розчини та обладнання використовують при митті деталей?

## 4 РЕМОНТ МАГНІТОПРОВІДІВ І МЕХАНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

В процесі роботи електричної машини відбувається зношування, яке викликає послаблення кріплення і зміну форми її окремих деталей. Деякі деталі втрачають свою роботоздатність в результаті втрати потужності. Все це потребує ремонту або заміни цих деталей.

### 4.1 Ремонт осердя (магнітопроводів)

Характерними пошкодженнями осердя статорів (роторів) є послаблення посадки осердя в корпусі (на валу), їх зазорів в осьовому напрямку, розпушуванні крайніх листів, послаблення пресування, порушення ізоляції між листами, вигорання або оплавлення окремих ділянок та зношування внутрішньої (зовнішньої) поверхні.

*Ремонт при послабленні посадки осердя.* Спочатку оглядають осердя статора і перевіряють стан стопорів та кільцевих шпонкових канавок, в яких вони встановлені. Потім встановлюють на місце за заводським виконанням і закріплюють його новими стопорами або кільцевими шпонками, причому отвори для стопорів свердлять в новому місці. При послабленні посадки осердя ротора його випресовують з вала, вал ремонтують або заміняють на новий та знову встановлюють осердя ротора.

*Ремонт при розпушуванні крайніх листів осердя.* Для усунення цього дефекту в машинах малої потужності прорізають ножівковим полотном похилі пази в зубцях (їх розміри показано на рисунку 4.1, а) і проварюють ці пази електродуговим зварюванням (електрод ОММ5 діаметром 2 мм). При зварюванні розпушені зубці 4 стискають сегментом або кільцем 3 за допомогою шпильок 2, які проходять через пази. Зварні шви 1 пилять сумісно з осердям до потрібного розміру. Розпушені зубці можна також склеїти за допомогою лакування, стягнувши кільцем і шпильками до повного висихання лаку.

Для машин великої потужності, які мають відносно високі зубці, вказані способи ремонту не використовують, оскільки вони не забезпечують міцне і надійне скріплення зубців і створюють замкнені контури для протікання вихрових струмів. В цьому випадку рекомендується встановити додаткову шайбу 6 з пальцями (зубцями) 5, як показано на рисунку 4.1, б, або встановити окремі натискувальні пальці 5 між осердям та натискувальною шайбою 9, як показано на рисунку 4.1, в. Фіксація додаткових елементів може здійснюватись за допомогою штифтів 10. Такий ремонт можливий при розпресуванні осердя та його частковому або повному перешихтуванні.

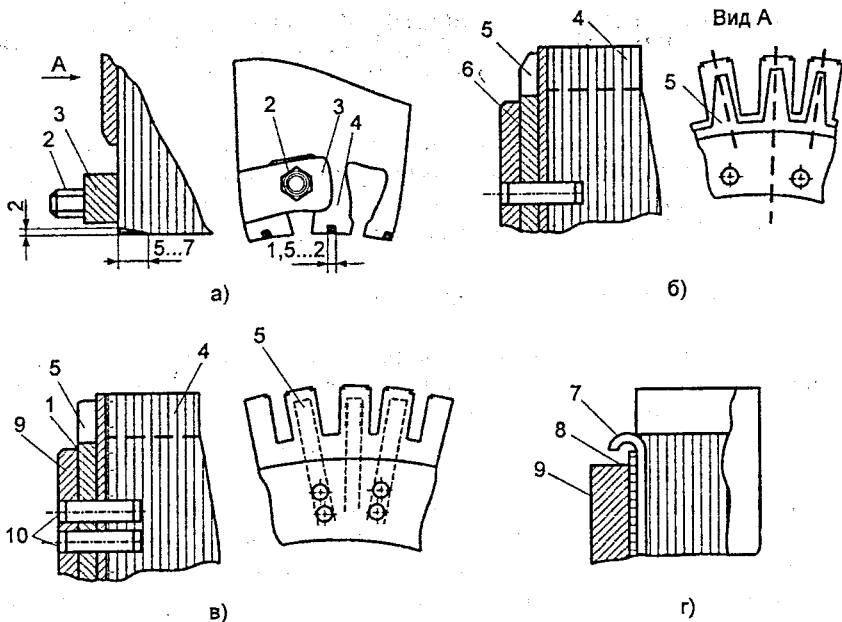


Рисунок 4.1 – Ремонт осердя:

- а) з використанням зварювання; б) з використанням додаткових натискувальних шайб із зубцями; в) з використанням окремих натискувальних пальців; г) з використанням клинів;  
 1 – зварний шов; 2 – шпилька; 3 – кільце (сегмент); 4 – зубці осердя;  
 5 – натискувальні пальці; 6 – додаткова шайба; 7 – крайній лист осердя;  
 8 – текстолітовий клин; 9 – натискувальна шайба; 10 – штифти

**Ремонт при послабленні пресування осердя.** При загальному послабленні пресування осердя невеликого діаметра між натискувальною шайбою 9 на крайньому листі 7 осердя через кожні 2–4 зубця забивають текстолітові клини 8 (рис. 4.1, з), які забезпечують нормальне пресування осердя. Щоб визначити необхідну товщину клина, можна попередньо опресувати осердя під тиском 1 МПа. Ширина клина не повинна перевищувати ширини зубця. Для запобігання клина від випадання його перед установленням промащують клейким лаком та загинають крайній лист 7 осердя. При місцевому послабленні пресування осердя статора (дефект або випадання вентиляційної розпірки) пошкоджену розпірку виправляють, а замість розпірки, яка випала, забивають текстолітовий клин загинаючи на нього з двох сторін крайні листи осердя.

При послабленні пресування осердя крупних електричних машин, в яких пресування здійснюється стяжними шпильками, проводять підтягування шпильок. Для цього видаляють зварні шви, стопорні гайки натиску-

вальних шпильок від самовідгвинчування, підтягують чотири гайки, розташовані в діаметрально протилежних точках, і здійснюють обтягування натискувального фланця, загвинчуючи інші гайки в декілька обходів. Після закінчення підтягування відновлюють зварні шви.

Якщо гайки не вдається підтягнути або підтягуванням не вдається відновити пресування осердя, пресування відновлюють забиванням в зубцюву зону клинів зі склотекстоліту марки СТЭФ-1. Поверхні для забивання клинів обезжирюють бензином Б-70 і підсушують, контактні поверхні сегментів і клинів промащують лаком БТ-99 або епоксидним клейким лаком ЭЛ-4. Після встановлення клинів для повної полімеризації проводять сушіння при температурі 20–25 °С протягом 10–12 год.

**Ремонт при порушенні міжлистової ізоляції.** Якщо є порушення на невелику глибину лакового покриття окремих сегментів, які прилягають до місця встановлення клинів, то перед забиванням клина між сегментами вставляють прокладки зі слюди на лаку БТ-99 на глибину 20–35 мм. Місцеві порушення міжлистової ізоляції на поверхні статора усувають шляхом встановлення пелюстків слюди між сегментами або ізолюванням сегментів рідинним лаком БТ-99. Для цього сегменти розводять спеціально загостреними вузькими та тонкими стальними полюсами необхідної довжини.

Великі поверхні пошкодженень усувають травленням в концентрованій азотній кислоті. На статор намотують намагнічувальну та контрольну обмотки і, пропускаячи по намагнічувальній обмотці струм, визначають місце підвищеного нагріву, що свідчить про пошкодження ізоляції, поверхню, яка оточує місце пошкодження, зачищають шпаклівкою та хімічно стійкою емаллю, нагрівають пошкоджену зону до 75–105 °С за допомогою обмотки намагнічування і, вимкнувши струм, протравляють пошкоджене місце концентрованою азотною кислотою. Після закінчення травлення залишки кислоти нейтралізують 4÷5-кратною обробкою серветками, які змочені 10% розчином кальцинованої соди і, промивають місце, яке ремонтується, гарячою дистильованою водою з температурою 40÷60 °С. Потім протирають його серветками і промивають спиртом.

**Ремонт при вигоранні ділянки зубця осердя.** При вигоранні або оплавленні ділянки зубця осердя видаляють дефектну частину і встановлюють на її місце «протез» зі склопакета для запобігання випучуванню обмотки. Видалення пошкодженої області здійснюють за допомогою гострого зубила з його попереднім можливим висвердлюванням, після чого усувають замикання листів. «Протез» виготовляється на місці і встановлюється на клею ЭЛ-4.

#### 4.2 Ремонт корпусів та підшипникових щитів

Найчастіше корпуси електричних машин мають такі пошкодження [2, 5]:

- відлом лапи у чавунної частини;

- зношування або зрив різьбових отворів;
- зношування посадочних місць під щити;
- поява тріщин.

Для підшипникових щитів характерним є зношування посадочних відхилень та тріщин.

**Ремонт посадочних поверхонь в чавунних корпусах і підшипникових щитах.** Задирки та вм'ятини виправляють шліфуванням, якщо загальна площа пошкоджень не перевищує 4% від посадочної поверхні під підшипник та 15% від посадочної поверхні замків. Шліфування здійснюють бархатним напилком або шліфувальною шкуркою, яку трохи змочують у машинному маслі. При великих пошкодженнях ремонт здійснюють наплавленнями металу, запресуваннями втулки, нанесеннями герм етика та іншими методами.

Перед наплавленням деталі нагрівають в печі до 300–400 °С. Наплавлення здійснюють чавунним електродом марки Б газовим паєльником, використовуючи як флюс буру або одну з трьох сумішей, які наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Склад сумішей, які використовують при наплавленні металів, %

Компоненти	Процентний вміст		
	Бура	56	23
Вуглекислий натрій	22	27	50
Вуглекислий калій	22	-	-
Азотнокислий натрій	-	50	-
Двовуглекислий натрій	-	-	50

Після наплавлення деталі піддають відпалюванню в печі при температурі 300–400 °С протягом 4–6 годин та повільному охолодженні у вимкненій печі протягом 12–16 год.

При механічній обробці наплавлених місць велике значення має правильне установаження та кріплення деталей на верстаті. Для оброблення замків корпусу його встановлюють на внутрішню поверхню або на один з замків, який не піддавався наплавленню, а для оброблення щитів або на одну посадочну поверхню, яка не має наплавлення, або на технологічні напльиви (при обробленні двох наплавлених поверхонь).

Посадочну поверхню під підшипник відновлюють запресуванням в підшипниковий щит втулки. Для цього спочатку в щиті проточують гніздо під підшипник, щоб можна було використовувати втулку товщиною 6–10 мм, а товщина стінки на щиті залишалась не менше 10 мм. Проточування щита та виготовлення втулки виконують за розмірами і допусками, які забезпечують посадку з натягом. Потім здійснюють пресування з підігрівом та закріплюють втулку 1 (рис. 4.2) в щиті двома діаметрально розта-

шованими стопорами 2. Глибина свердлення під стопор повинна бути не менше двох діаметрів стопору.

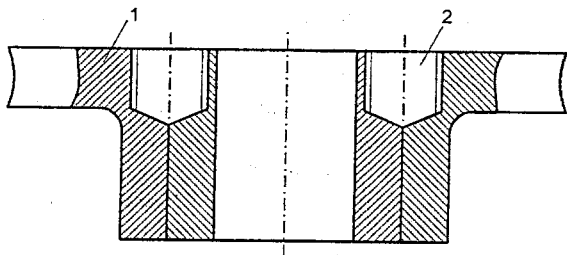


Рисунок 4.2 – Ремонт посадочної поверхні підшипникового щита:  
1 – втулка; 2 – стопор

Зношування посадочних поверхонь не більше 0,2 мм в щитах і на валах усувають нанесенням герметика 6Ф, який випускається у вигляді листів жовтого кольору товщиною до 5 мм. Цей матеріал стійкий до впливу води, мулу та масел, але розчиняється в ацетоні, толуолі, бензолі та етилбутилацетаті. Він має добру адгезію до сталі, чавуну, алюмінієвих та мідних сплавів. Для приготування розчину герметик нарізають дрібними кусками і кладуть в посудину з розчинником на 24 год, посудину щільно закривають і періодично збовтують. В'язкість розчину повинна бути в межах  $(33 \div 34) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  за візкозиметром ВЗ-4. Термін зберігання розчину в щільно закритій посудині та затемненому місці складає 2–3 роки.

Для нанесення герметика необхідно зачистити поверхню та обезжирити її ацетоном. Герметик наносять щіткою та сушать на повітрі не більше 20 хв. При необхідності збільшити шар герметика його наносять декілька разів після того як висохне кожний попередній шар. Остаточне сушіння здійснюють при температурі 140 °С протягом 2 год. Герметик має добрі віброгасильні властивості. Він не токсичний, але при сушінні можливе виділення в невеликих кількостях фенолу та аміаку, тому при роботі необхідно використовувати гумові рукавички та спецодяг. Розчин герметика належить до таких рідин, що легко запалюються.

**Зварювання тріщини** застосовують тільки тоді, коли вона не викликає зміни форми посадочних поверхонь. Попередньо свердлом діаметром  $6 \div 8$  мм висвердлюють отвір на відстані  $8 \div 10$  мм від кінців тріщини на всю її глибину. Потім тріщину обробляють під зварювання з кутом не менше 70° та притуплюють крайки. Поверхні, які прилягають до місця зварювання, зачищають до металевого блиску абразивним кругом або металевою щіткою. Зварювання здійснюють електрозварюванням постійним струмом зворотної полярності (сила струму встановлюється з розрахунку 45–60 А на 1 мм електрода в залежності від його типу).

Як присадний матеріал використовують мідні стержні діаметром 3–6 мм з оболонкою з листової жести товщиною 0,3 мм з тонкою крейдовою обмазкою, а при зварюванні – флюс (бура – 50%, залізни ошурки – 25%, залізна окалина – 25%). Зварювання ведуть короткими ділянками не більше 40 мм, не допускаючи перегріву основного матеріалу. Для відведення тепла використовують мідні прокладки. Кожну ділянку відразу після зварювання простукують молотком масою 500 г. Шви зачищають від шлаку металевою щіткою.

**Відновлення відламаних лап корпусу.** Крайки сполучних деталей обробляють під кутом  $30^\circ$  з обох сторін на глибину не менше  $\frac{1}{4}$  товщини. Виготовляють 2÷3 вертиші 2 (рис. 4.3) зі сталюго прутка діаметром не менше половини товщини деталі. Розмічають та просвердлюють відламану частину 1 та основну деталь 3 і в останній нарізають різьбу. Закручують вертиші 2 в основну деталь 3 та надягають на них відламану частину 1. Проварюють газовим зварюванням відламану частину 1 по обробці. Шви зачищають сталюю щіткою.

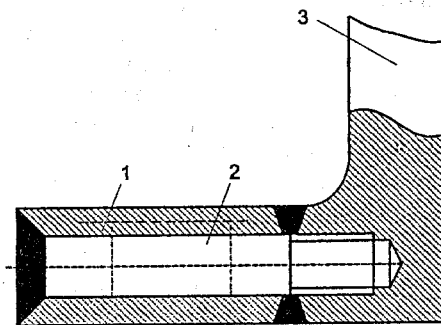


Рисунок 4.3 – Відновлення лапи корпусу:

1 – відламана частина; 2 – вертиш; 3 – основна деталь

**Відновлення різьбових отворів.** Зношування та зрив різьби в отвірних кріпленнях виникають при багатократних складаннях та розбираннях різьбових з'єднань або занадто великих моментах затягування. В сталюих корпусах гнізда зі зношеною різьбою заварюють електродуговим зварюванням, просвердлюють отвори і нарізають різьбу такого ж діаметра. В чавунних та алюмінієвих корпусах несправний різьбовий отвір розсвердлюють під пробку і нарізають різьбу великого діаметра. Після цього заготовляють футорку, закручують її в отвір та проварюють з'єднання електрозварюванням. Зварний шов зачищають, в футорці просвердлюють отвір і нарізають різьбу старого діаметра.

В алюмінієвих деталях доцільно замінити болти на шпильки та гайку. Спочатку в корпусі встановлюють на клею шпильку, на яку буде натягати-

ся і кріпитися гайкою деталь. В цьому випадку зношування з'єднання при складанні та розбиранні значно зменшується. Якщо дозволяє конструкція, допускається відновлювати різьбовий отвір розсвердленням до ближнього більшого діаметра розмірного ряду різьби.

### 4.3 Ремонт валів

До основних пошкоджень вала належать риски і задирки на посадочних поверхнях, задирки в шпонкових пазах, зміна форми і розмірів, зменшення діаметрів посадочних поверхонь під підшипники і осердя, овальність та конусність посадочних поверхонь, несправність, забиті центральні отвори.

Риски та задирки усувають шліфуванням, якщо їх загальна площина не перевищує 4% від загальної посадочної поверхні під підшипник та 10% — від муфту, шків, шестерню або шпонку.

Шліфування здійснюється бархатним напилком або шліфувальним наждачним папером, який трошки змочений маслом. Якщо розміри посадочних поверхонь виходять за розміри допусків, вказаних на кріпленнях, або зона дефектів перевищує встановлені допуски, то дефекти усувають одним з таких методів [7]:

- електродуговим наплавленням;
- вібродуговим наплавленням;
- газоплазмовим напиленням;
- електромеханічним методом.

**Ремонт з використання електродугового наплавлення.** Перед наплавленням виступи висотою 4 мм і більше проточують на конус під кутом 15–20°. Вал або ротор встановлюють осердям на обертові ролики та виконують наплавлення, накладаючи шви у черговості, яка позначена цифрами на торці вала, яке забезпечує мінімальні деформації. При цьому шов попереднього шару обстукують молотком та зачищають дротяною щіткою. Полоси наплавленого металу повинні виходити за межі відновлюваної поверхні на  $0,5 \div 0,7$  та  $1,0 \div 1,5$  діаметра вала  $d$ , чергуючи через один. При наявності шпонкового паза на відновлюваній поверхні наплавлення потрібно починати з нього. Після наплавлення проводять механічну обробку поверхні. Наплавлення звичайно проводять електродами Э42 або ОММ-5.

Центральні отвори на торці вала відновлюють таким чином. Наплавлення торця вала ведуть від центра до периферії: по спіралі. Потім на токарному верстаті обробляють торець, витримуючи загальну довжину вала, і засвердлюють центральні отвори. При відновленні центральних отворів базою служить зовнішня поверхня осердя ротора.

Розроблений шпонковий паз відновлюють електродуговим наплавленням з наступною механічною обробкою. Якщо шпонкові пази пошкоджені в валу і осерді, то потрібно зробити шпонкові пази більшого розміру та поставити нову шпонку. Якщо пошкоджено один шпонковий паз, то його

фрезерують на більший розмір та встановлюють ступінчасту шпонку або фрезерують новий шпонковий паз зі зсувом його відносно старого на чверть кола. Вибір способу ремонту залежить від можливостей ремонтного цеху.

**Ремонт з використанням вібродугового наплавлення.** Автоматичне та напівавтоматичне вібродугове наплавлення відкритою дугою в середовищі захисного газу використовують для відновлення циліндричних деталей діаметром 8–200 мм. Це наплавлення не потребує складного обладнання, забезпечує високу продуктивність та отримання твердої поверхні без її термообробки. Вібродугове наплавлення є різновидом електродугового зварювання і здійснюється електродом, який вібрує з частотою 20–100 Гц. Товщина шару, який наплавляється, складає 3–5 мм.

Перед наплавленням поверхня вала повинна бути очищена від забруднень та масла, а шпонкові пази заповнені мідними або графітними вставками, щоб останні виступали над чистою висотою наплавленого металу на 1 мм.

Деталь затискується в патроні або центрах верстата і обертається зі швидкістю 0,7–4,0 об/хв, а зварювальна (вібродугова) голова пересувається повздовж цієї деталі зі швидкістю  $v_{np}$ . Перенесення металу відбувається невеликими краплями, що забезпечує формування щільних шарів напаленого металу. Напруга джерела струму дорівнює 14÷24 В, діаметр електродної проволочки  $d_e = 1,6 \div 2,5$  мм, зварювальний струм 100–250 А. До місця наплавлення подають охолоджену рідину, через яку в дугу вводять іонізуючі солі, які підтримують стабільність її горіння.

Вибір режиму наплавлення залежить від типу головки, яка використовується, і повинен задовольняти таке співвідношення [6]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_{np}}{v_n} &= 1,0 \div 1,2; \\ B &= (1,2 \div 1,7) \cdot d_e, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

де  $v_n$  – швидкість наплавлення (до 1,5 м/хв);

$B$  – крок наплавлення.

**Ремонт з використанням газоплазменного напилення** використовується при відновленні циліндричних поверхонь, які мають безперервне заглиблення на глибину до 3 мм. При відновленні валів поверхню попередньо піддають механічній обробці, обезжирюють, напилюють підшар (забезпечує міцний зв'язок основного металу з робочим шаром покриття і захист основного металу від окислення), напилюють робочий шар і піддають його механічній обробці.

Була розроблена установка для нанесення покриття на вали діаметром до 250 мм (рис. 4.4). Ротор 7, що ремонтується, одним кінцем вала затиску-

ється в патрон 2, а іншим опирається на роликову опору 8, яка регулюється. Розпилювальна головка 3 газового металізатора МГІ-4П розташовується на супорті верстата. Проволока подається з котушки 4, а живлення здійснюється від балонів 1 з пропан-бутаном і киснем. Для відсмоктування аерозолів металу та токсичних продуктів згорання газів передбачена витяжна вентиляція (парасоль 6, яка встановлена в зоні горіння, та повітровід 5). Частота обертання вала при напиленні складає  $0,1 \pm 0,6$  об/хв.

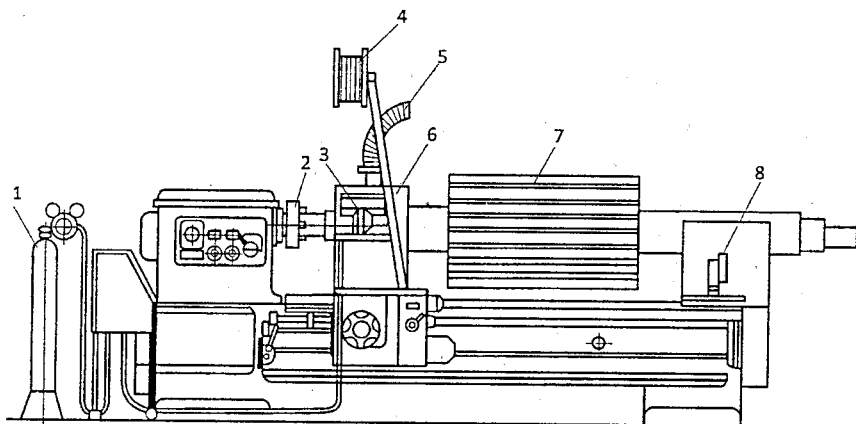


Рисунок 4.4 – Установка газоплазменного напилення:  
1 – балон; 2 – патрон; 3 – розпилювальна головка; 4 – котушка;  
5 – повітровід; 6 – парасоль; 7 – ротор; 8 – роликова опора

Попередньою механічною обробкою видаляють шар металу, який уражено корозією, і добиваються усунення ексцентричності вала, конусності та овальності в місцях напилення. Для покращання зчеплення між підшаром, що напиляється, та поверхнею вала її обробляють різцем з кутом при вершині  $55 \pm 60^\circ$  і переднім кутом, який дорівнює нулю. Різець встановлюється нижче осі деталі з вильотом  $100 \div 150$  мм. Завдяки цьому в процесі роботи він вібрує, створюючи рвану поверхню вала. Підготовку поверхні до напилення можна проводити і накатуванням сігчастими роликами. На кінцях шийок вала проточують кільцеві канавки для виходу різця.

Після цього підготування напиляють підшар до перекриття вершин поверхні, яка обробляється, на  $0,15 \div 0,25$  мм, а після закінчення напилення накривають напилену поверхню азбестом і витримують до повного охолодження. Перерви між технологічними операціями процесу напилення повинні бути мінімальними.

**Електромеханічний спосіб ремонту.** Деталь, яку потрібно обробити, вставляється на токарний верстат, в зону контакту деталі і інструмента по-

дають змінний струм 350–1500 А при напрузі 2–6 В. Один провід підводиться до електроконтактного пристосування, яке подає струм до деталі, що обертається, другий – до ізольованого від корпусу верстата інструмента.

Електричний опір контакту «деталь – інструмент» великий через малу площу контакту, тому в місці контакту виділяється значна енергія, яка практично миттєво нагріває зону контакту до високої температури. Поверхня деталі під дією температури і радіальних зусиль інструменту згладжується. Об'єм деталі, яка нагрівається, малий у порівнянні з масою деталі, тому охолодження поверхневого шару відбувається за рахунок відведення тепла усередину деталі. При цьому відбувається загартування поверхневого шару.

Цей метод використовують для чистої обробки поверхонь замість шліфування (чистота  $R_a = 0,63 \div 0,32 \text{ мкм}$ ), для зміцнення поверхневого шару на глибину  $0,2 \div 0,3 \text{ мм}$  та для відновлення зношеної поверхні до  $0,4 \text{ мм}$  без додавання металу і понад  $0,4 \text{ мм}$  з додаванням металу.

Ремонт складається з двох операцій: висадка поверхневого шару зношеної деталі (рис. 4.5, а) та згладжування (рис. 4.5, б). Висадкою отримують гвинтовий виступ на поверхні деталі діаметром  $D_2$ , при цьому замість зрізання стружки відбувається пластична деформація поверхневого шару. Згладжування здійснюють радіусною пластинкою до розміру  $D_0$ , при цьому підвищується твердість поверхні на глибину  $0,15 \text{ мм}$ .

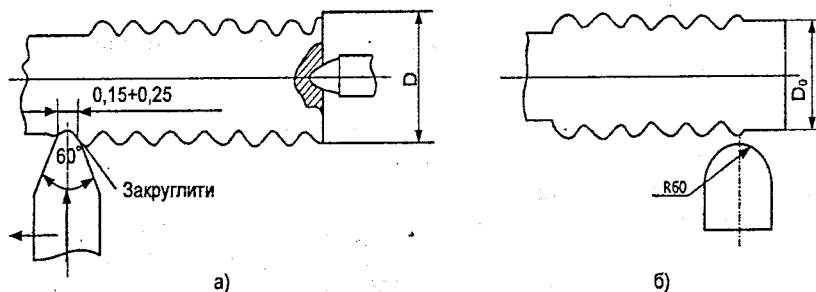


Рисунок 4.5 – Поверхня вала:  
а) після висадки; б) після згладжування

При зношуванні понад  $0,4 \text{ мм}$  після висадки приварюють метал у гвинтову канавку роликовим інструментом та піддають відновлену поверхню механічній обробці.

Відновлення посадочної поверхні вала під осердя ротора здійснюють після зняття осердя та визначення необхідного діаметра вала після ремонту. При величині зазору між осердям та валом до  $0,12 \text{ мм}$  виконують поз-

довжнє накатування посадочної поверхні, при більшому зазорі – додають метал одним з розглянутих способів.

Знімання осердя з короткозамкненою обмоткою на роторі труднощів не викликає. Наприклад, для знімання осердя фазних роторів спочатку виводять з них обмотки, потім для запобігання зсуву листів осердя в два протилежних пази встановлюють сталі калібри, які мають форму пазів. Після цього осердя затискують між масивними шайбами та випресовують вал.

**Виправлення кривизни вала** здійснюють таким чином (рис. 4.6). Повільно повертають ротор 3 в центрах або призмах, за стрілковим індикатором 2 визначають кривизну вала. Виправлення виконують при кривизні більше 0,02 його довжини без демонтажу осердя та контактних кілець.

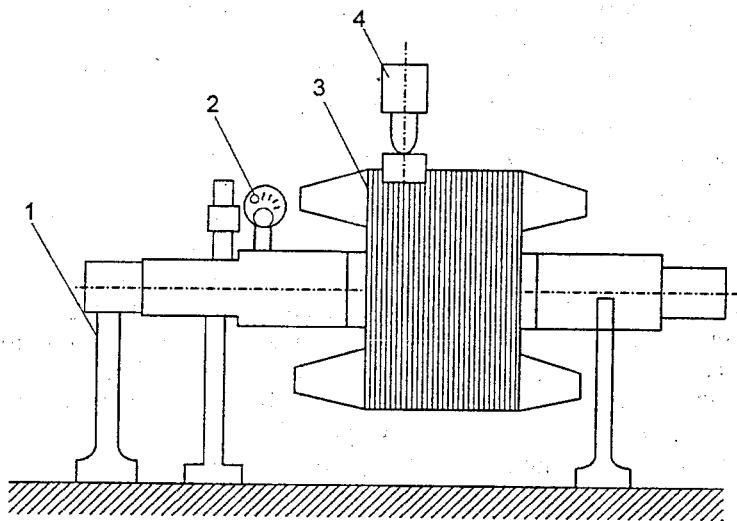


Рисунок 4.6 – Виправлення кривизни вала:  
1 – призматичні опори; 2 – індикатор; 3 – ротор; 4 – прес

Для цього ротор 3 встановлюють на призматичні опори 1 і в місці максимального вигину діють пресом 4. Якщо це місце знаходиться поза осердям, то опору розташовують з протилежної сторони максимально близько до торця вала. При цьому визначити зусилля натискання буває важко, тому виправлення проводять в декілька прийомів, вимірюючи кожний раз величину вигину індикатором 2 та підбираючи зусилля для наступного прийому. Виправлення припиняють при значеннях вигину менше 0,04 – 0,05 мм.

#### 4.4 Ремонт короткозамкнених обмоток ротора

Короткозамкнені обмотки роторів виконуються литими або зварними. Типові пошкодження литої обмотки – розрив короткозамикаючого кільця та обрив стержня в пазу. Для зварної обмотки характерне послаблення або порушення контакту між стержнями та коротко замикаючим кільцем, а також обрив або підгоряння стержнів.

При огляді зварної обмотки необхідно звертати увагу на чинники, які можуть приводити до обриву стержня або його розпаювання з кільцем. До таких чинників належать:

- наявність кольорів мінливості на кільцях в місцях паяних з'єднань зі стержнями;
- підгоряння болтів, які з'єднують сегменти короткозамикальної обмотки явно полосних синхронних машин;
- хвилеподібний вигин короткозамикальних кілець або стержнів;
- прогин кінців стержнів, які виступають з осердя;
- зсув обмотки (білячої клітки) поздовж ротора.

**Ремонт литої обмотки.** Тріщини короткозамикаючого кільця усувають паянням (якщо кількість тріщин більше двох на кільце, обмотку не відновлюють). Пошкоджені місця очищують та промивають бензином. Місця тріщин розширюють та обробляють у формі ластівчиного хвоста, але не більше ніж на 2/3 товщини кільця. Ротор встановлюють так, щоб пошкоджене місце розташовувалося горизонтально, нагрівають його газовим пальником до 350–400 °С та залужують припоєм (15% олова, 20% кадмію та 65% цинку або 63% олова, 33% цинку та 4% алюмінію). В процесі лудіння протирають поверхню щіткою з кардострічки. Облужену тріщину після цього заповнюють одним з вказаних припоїв, беручи його з прутка. Надлишки припою знімають сталюю гарячою праскою. Тріщини можуть усуватися також аргонно-дуговим зварюванням. Литі обмотки, які мають розриви стержнів, не відновлюють.

**Ремонт зварної обмотки.** При послабленні або порушенні контакту стержня з кільцем необхідно зачистити та пропаяти його мідно-фосфорним припоєм. При паянні не можна допускати перегріву міді. При послабленні стержня в пазу виконують карбування ударами по прямокутній частині стержня по всій довжині осердя.

Якщо тріщини неглибокі (не більше 0,25 товщини стержня) і розташовані на частині стержнів, яка виступає з осердя, їх усувають зварюванням. Якщо тріщина більш глибока, то стержень в цьому місці розрізають та виділяють, висвердлюючи ділянку, яка приєднується до короткозамкненого кільця (рис. 4.7).

Через отвір в кільці в стержні 3 висвердлюють отвір глибиною 6–7 мм і на місце видаленої частини стержня встановлюють вставку 2. При паянні мідно-фосфорним припоєм зазор  $\alpha$  повинен дорівнювати 0,2 мм, а при па-

янні припоєм, який містить срібло, (використовується при лінійних швидкостях ротора від 50 м/с і вище) –  $0,1 \pm 0,15$  мм.

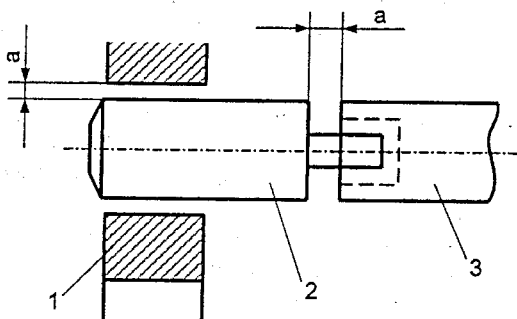


Рисунок 4.7 – Установлення вставки стержня зварної короткозамкненої обмотки: 1 – короткозамкнене кільце; 2 – вставка; 3 – стержень

При необхідності видалення стержня цілком його висвердлюють свердлами з подовженими хвостовиками. Крім того, можна прорізати стержень через шліц в пазу, послабляючи його посадку, після чого вибити з паза на 50–80 мм і видалити, використовуючи механізм із зачепленням. Після ремонту необхідно провести динамічне балансування ротора.

#### 4.5 Ремонт колекторів і контактних кілець

*Колектори на пластмасі* найчастіше мають такі дефекти:

- подрятини;
- вибоїни і підгоряння колекторних пластин;
- тріщини в пластмасі;
- місцеве вигоряння пластмаси;
- електричний пробій в ізоляції;
- замикання пластин на корпусі між собою;
- розпаювання контактів між пластинами і обмоткою.

Вказані дефекти (крім останнього), як правило, виникають на стороні колектора, вільній від обмотки, оскільки вона більше забруднена маслом та пилом. При ремонті колектор можна не знімати з вала.

При наявності невеликих перекривань на поверхні пластмаси їх зачищають скляним наждачним папером, обезжирюють, протирають серветками і не менше двох разів покривають емаллю повітряного сушіння. Випали на значній площі видаляють проточуванням на токарному верстаті на глибину 2÷3 мм, після чого оброблену поверхню полірують скляним наждачним папером, обезжирюють і покривають емаллю. Тріщини глибиною до 3 мм і випали видаляють свердлінням, оброблені місця очищують та обез-

жирюють, після чого заповнюють епоксидним компаундом холодного за-  
твердіння. Замикання пластин між собою усувають розчищенням доріжок  
між пластинами та обробкою оплавлених або обгорілих пластин шабером.

Для усунення сильних випалів, виробок, нерівностей та биття колектор  
проточують по зовнішній поверхні, не знімаючи з вала. Для цього ротор  
встановлюють в центр або на лонети токарного верстата. Після проточу-  
вання продорожують колектор та знімають фаску.

*Колектори на сталій втулці* на відміну від колекторів на пластмасі  
в ряді випадків розбирають та замінюють окремі колекторні та ізоляційні  
пластини. Заміна пластин може виконуватись як із зняттям, так і без зняття  
колектора з вала.

В обох випадках розбирання здійснюється таким чином. Обв'язують  
колекторні пластини сталію випаленою проволокою 7, викручують  
стопори 2, гайку 1 та знімають натискувальний конус 3 сумісно з бандажем  
4 і манжетою 6 (рис. 4.8). Після цього оглядають манжету та пластини з  
торця. Якщо пошкодження манжети незначні, то очищують пошкоджене  
місце та встановлюють на ній міканітові прокладки. При підпалі пластин з  
торця зачищають пошкоджені місця.

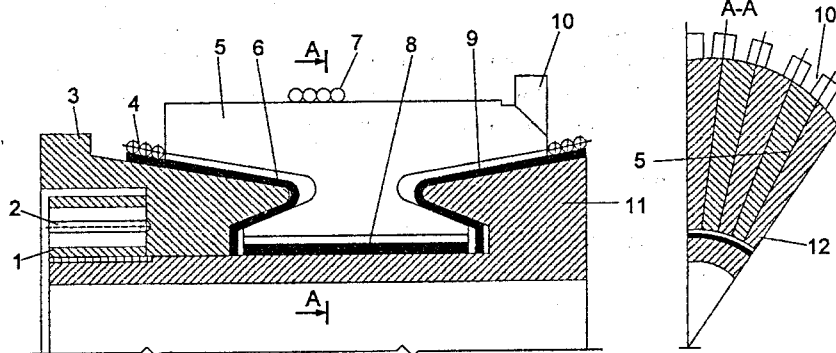


Рисунок 4.8 – Колектор на сталій втулці:

- 1 – гайка; 2 – стопор; 3 – натискувальний конус; 4 – бандаж; 5 – колекторна  
пластина; 6 та 9 – манжети; 7 – тимчасовий проволочний бандаж;  
8 – ізоляційний циліндр; 10 – півники; 11 – натискувальний конус;  
12 – ізоляційна прокладка

Для зняття кільця колекторних пластин 5 необхідно спочатку  
від'єднати обмотку від півників 10. Якщо обмотка припаяна, виконують  
розпаювання паяльником, якщо зварена – проточують торці півників на  
глибину проварювання (як правило, воно складає не більше 2÷3 мм). В  
конструкції колектора зі зварною обмоткою передбачене одно- або двократ-  
не проточування місця зварювання. Після від'єднання обмотки знімають

кільце колекторних пластин 5 з натискувального конуса 11 та оглядають ізоляційний циліндр 8 та другу манжету 9, в яких при необхідності усувають пошкодження. При пробі ізоляційної прокладки 12 між колекторними пластинами 5 або при сильному вигорянні колекторних пластин (4–5 шт.) їх замінюють.

Для цього використовують пристосування (рис. 4.9).

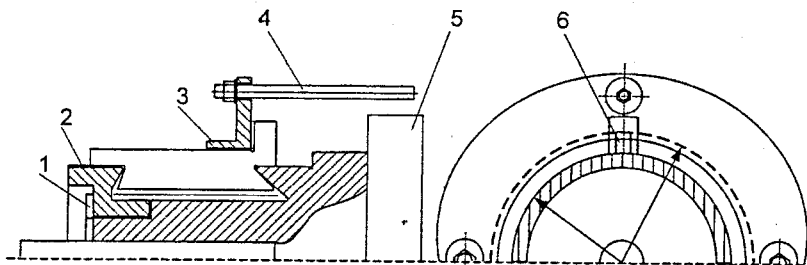


Рисунок 4.9 – Пристосування для заміни колекторних пластин:  
1 – гайка; 2 – конус; 3 – диск; 4 – шпилька; 5 – підставка; 6 – виріз

Колектор встановлюють на підставку 5, на пластини надівають диск 3 та фіксують колектор шпильками 4. Викручують стопори, гайку 1, знімають конус 2 і манжету. Диск 3 має вирізи 6 напроти колекторних пластин, які підлягають заміні. Через вирізи вибивають пошкоджені пластини. Через вирізи вибивають пошкоджені пластини. Замість видалених встановлюють нові пластини з міді тієї ж марки. Нові пластини попередньо пресують сумісно з новими ізоляційними прокладками.

Після складання колектор необхідно проточити та здійснити його формування. Формування виконується при швидкості на 20% вищій номінальної і при високій температурі. Формування, пресування та підтягування натискувальних конусів припиняють при битті менше 0,03 мм.

**Ремонт контактних кілець.** При виробленні контактних кілець їх проточують. При пробі ізоляції кілець на втулку або між собою, а також при вигорянні контактної шпильки або великому зношенні кілець, для ремонту їх спочатку випресовують зі втулки. Потім з неї зрізають ізоляцію та ретельно очищують її зовнішню поверхню. На очищену поверхню наносять нову ізоляцію, спресовують втулку до потрібних розмірів та насаджують на втулку з натягом нові або відремонтовані контактні кільця. Посадка кілець проводиться в гарячому стані при температурі кілець 300–400 °С. Завершують ремонт оздобленням вузла контактних кілець.

## Контрольні запитання

1. Якими способами можна усунути послаблення пресування осердя?
2. Як виправити пошкодження різбових отворів в корпусах?
3. Як усунути послаблення посадки підшипників в щитах і на валах?
4. Як відновити послаблення посадки підшипників в щитах і на валах?
5. Які дефекти можуть бути усунені в литій (зварній) короткозамкненій обмотці роторів?
6. Які дефекти можуть бути виправлені у пластмасових колекторах (у колекторах на сталій втулці)?

## 5 РЕМОНТ ОБМОТОК ТА СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПІСЛЯ РЕМОНТУ

При капітальному ремонті, як правило, здійснюється повна заміна обмоток і ізоляції машини. Обмотки, які виготовлено з круглого проводу, і багатовиткові обмотки, які виготовлено з прямокутного проводу невеликого перерізу, як правило, не відновлюються. Обмотки, які виготовлено з прямокутного проводу великого перерізу, намагаються використовувати повторно, замінюючи виткову та корпусну ізоляцію. У всіх випадках ремонту обмоток підлягає заміні уся ізоляція. Обмотку з круглого проводу укладають вручну, тому що механізація процесу обмежується низькою якістю осердя після видалення обмоток, великою номенклатурою та малими кількостями однотипних машин.

### 5.1 Виготовлення та укладання обмоток з круглих проводів

При ремонті виготовлення та укладання обмоток здійснюються таким чином:

- нарізається та заготовлюється ізоляція;
- намотуються котушкові групи (або фази);
- ізолюються пази і в них укладаються провідники;
- розпаюють схеми та вивідні кінці;
- формуються лобові частини обмотки.

Листовий матеріал розрізають ручними або механізованими (вібро) ножицями, а ролонні – дисковими. Котушкові групи намотують на автоматизованих верстатах, попередньо встановлюючи програму намотування та розмір шаблону. Після закінчення намотування для полегшення зняття котушок верстат зупиняють, щоби шаблону зближують, послаблюючи намотування. При роботі на неавтоматизованих верстатах використовують не уніфіковані шаблони, які розраховано для намотування котушок певних розмірів. Шаблони дозволяють намотувати рівно котушкову та концентричну обмотки та мають пристосування, яке дозволяє посуванням рукоятки послабити намотування обмотки та вільно зняти її з шаблону.

При ремонті обмотки стараються зберегти усі її параметри – крок, кількість витків в пазу, діаметр проводу по міді та геометричну форму. Для одношарових обмоток це не викликає труднощів. Рівнокотушкова та концентрована обмотки мають практично однакову трудомісткість та однаково зручні при укладанні. В двошарових обмотках виготовлення та укладання рівнокотушкової обмотки достатньо прості. Обмотки машинного намотування більш складні та трудомісткі при ручному виготовленні. Тому при ремонті можна одно-, двошарові концентричні обмотки замінювати на двошарові рівнокотушкові зі зберіганням діаметра проводу та кількості

провідників в пазу. При цьому здійснюють розрахунок кроку рівнокотушкової обмотки та змінюють форму котушок.

Крок рівнокотушкової обмотки при перерахунку двошарової концентричної обмотки визначається за формулою [2]:

$$y = \frac{(y_{нб} + y_{нм})}{2}, \quad (5.1)$$

де  $y_{нб}$  та  $y_{нм}$  – крок найбільшої та найменшої котушок двошарової концентричної обмотки.

Крок рівнокотушкової обмотки при перерахунку одно-, двошарової концентричної обмотки визначають за формулою:

$$y = 2 \cdot (q + 1), \quad (5.2)$$

де  $q$  – кількість пазів на полюс та фазу.

Конструкція одно-, двошарових концентричних обмоток така, що скорочення кроку в них залежить тільки від кількості пазів  $q$  на полюс та фазу. Намотані котушкові групи обмотки передають на робоче місце укладання.

Укладання починають з огляду осердя, в пазах якого не повинно бути пилу та бруду, а окремі листи осердя не повинні виступати в паз або розпушуватися, створюючи рівні стінки пазів. В пази встановлюють пазову ізоляцію, яку підганяють на кулях та формують манжети, які запобігають зсуву ізоляції при таких операціях.

При укладанні одношарових обмоток в пази закладають витки обох сторін котушок. При укладанні двошарових обмоток в пази закладають сторони котушок, які розташовуються внизу паза, а сторони, які повинні розташовуватись зверху паза, залишаються неукладеними, тому що в тих пазах, де вони повинні розташовуватись, немає ще нижніх котушок. Кількість таких котушок буде дорівнювати кроку обмотки. Наступні котушки укладають одною стороною вверху пазів, а другою вниз. Останніми встановлюються верхні сторони перших котушок.

Порядок «вкладання» обмотки в пази такий. В ізольований паз встановлюють технологічні прокладки – через них заводять провідники. Після вкладання визначеної кількості витків їх ущільнюють підбиванням. При укладанні двошарових обмоток після заведення нижньої котушки встановлюють ізоляційну прокладку. Після укладання всіх провідників їх ущільнюють, підганяють краї ізоляції, встановлюють прокладку під клин і з торця забивають клин. Провідники в пазу завжди повинні розташовуватись щільно. Якщо вони розташовані вільно (котушки легко зсунути рукою), під клин встановлюють додаткові прокладки. Після укладання котушок здійснюють складання, паяння, ізолювання та прив'язки схеми і лобових час-

тин. Перед відправленням на випробування та просочування лобовим частинам обмотки надають остаточну форму, для чого їх обстукують молотком через текстолітову прокладку. Форму та розміри лобових частин перевіряють шаблоном. При всіх подальших операціях забороняється будь-що робити з обмоткою.

Вибираючи провід та ізоляцію, потрібно пам'ятати, що з підвищенням коефіцієнта заповнення паза (рекомендується не більше  $0,72 \div 0,74$ ) збільшується трудомісткість укладання та знижується надійність машини. В ході ремонту асинхронних електродвигунів першої та другої серії (А і А2) та використання сучасних проводів з більш тонкою ізоляцією та пазовою ізоляцією з меншою товщиною (як правило, більш високої якості) при укладанні отримують дуже низький коефіцієнт заповнення паза. В цьому випадку необхідно встановлювати додаткові прокладки або використовувати проводи більшого діаметра. При ремонті четвертої серії асинхронних електродвигунів (4 А) або серії АИ (АИР) часто використовують більш товсту ізоляцію, ніж встановлено в машзалах. Трудомісткість ремонту машин цих серій більша та потребує більш високої кваліфікації робітників.

## 5.2 Виготовлення та укладання обмоток з прямокутного проводу

Низьковольтні котушкові обмотки статорів з прямокутного проводу повторному використанню не підлягають, тому що відновити міжвиткову ізоляцію елегазового проводу не є можливим. Котушки для укладання в машину отримують із заводів-виробників як запасні частини або виготовляють на ремонтному підприємстві за технологією підприємств-виробників, яка включає: намотування човника, скріплення витків стрічкою та лаками, опресування пазової частини, розтягування човника в котушку, формування лобових частин, ізолювання вивідних кінців і лобових частин.

Обмотки якоря з прямокутного проводу з елегазовою ізоляцією також не можуть бути використані повторно. Якщо обмотка якоря має виткову ізоляцію у вигляді плівок товщиною  $0,02 \div 0,04$  мм, то при ремонті її можна відновити. Для цього котушки видаляють з пазів, дбаючи про збереження їх форми, і знімають ножом (зрізають) корпусну та виткову ізоляцію. Потім котушки рихтують і накладають виткову ізоляцію, обмотуючи плівками в півнапусток кожний провідник. Провідники складають в котушку і намотують корпусну ізоляцію. Подальше виготовлення котушки залежить від типу ізоляції і відповідає технології виготовлення котушок на виробництві.

Високовольтні котушки використовують повторно. Для цього знімають стару корпусну та виткову ізоляцію, наносять ізоляцію знову та укладають котушки в статор. Видалення корпусної ізоляції здійснюють на верстатах.

Після розрізання корпусної ізоляції її знімають, витки котушки розсовують і ножом знімають виткову ізоляцію. При цьому не допускають зміни

форми витка. Потім на провід намотують в півнапусток виткову ізоляцію з плівки товщиною 0,02–0,04 мм. Витки котушки зсовують разом і намотують конусну ізоляцію. Тип ізоляції (термопластична або терморезистивна) та кількість витків визначаються конструктором. Подальше відновлення обмотки здійснюється так само, як при її виготовленні і укладанні на заводах-виробниках машин.

### 5.3 Ремонт стержневих обмоток роторів та обмоток полюсів

Витягнені з пазів стержні поступають на відновлення ізоляції. Стару ізоляцію знімають ножем в холодному або нагрітому стані і для зняття клепаання відпалюють місця, де стержень згинався при вийманні. Відпалювання виконують в печі або газовим пальником, нагріваючи стержень до 400 °С та охолоджуючи його у воді. Потім стержні виправляють та рихтують, вигорілі місця напаяють твердим припоем та зачищають під розмір стержня, видаляють задирки, зачищають кінці металевою щіткою та обслуговують. Після такої обробки стержні передають на ізолювання та пресування.

Пазові частини ізолюють тростинками, які покриті клеєм, обкатують на обкатних механізмах і опресовують на пресах. Лобові частини ізолюють стрічками та передають на укладання. Технологія укладання стержнів при ремонті не відрізняється від технології укладання при виготовленні машин.

Обмотки полюсів виконують з круглого або прямокутного проводу або збірними. Обмотки з прямокутного проводу можуть бути намотані плазом або на ребро. Котушки з круглого проводу не ремонтують, а виготовляють за технологією, яка прийнята на електромашинобудівельних заводах.

Котушки, які намотані плазом, розмотують, очищують від старої ізоляції, вишалоють, витравляють та промивають в гарячій воді. Намотування здійснюють на шаблоні. Виткову ізоляцію з електрокартону, азбестової стрічки або міканіту, встановлюють в процесі намотування.

Котушки з шинної міді, які намотані на ребро, при ремонті розтягують, очищають від старої ізоляції, покривають лаком та просушують їх в розтягнутому вигляді, прокладаючи між витками азбестовий папір. Потім котушку стискають, обрізають ізоляцію за розміром внутрішнього і зовнішнього контуру котушки, заводять всередину оправку та опресовують на пресі або сталевими шпильками під тиском 3–4 МПа. Не змінюючи тиску, котушку нагрівають до 180 °С та витримують протягом 1–2 год. Пресовану котушку висушують, просочують лаком або компаундом та накладають на неї зовнішню ізоляцію.

### 5.4 Просочування обмоток статорів та роторів

Обмотки статорів, роторів і котушки електричних апаратів підлягають просочуванню, яке зменшує площу їх зіткнення з навколишнім середови-

щем та тим самим цементує витки обмоток, знижує механічне зношування ізоляції, затримує процеси теплового старіння та зволоження електроізоляційних матеріалів. При просочуванні підвищується електрична міцність ізоляції внаслідок заповнення пор та капілярів обмотки лаками, які мають більш високу електричну міцність, ніж повітря. Крім того, просочування знижує температуру обмоток, тому теплопровідність лаків набагато вища теплопровідності повітря.

При ремонті можливості вибору ізоляції та лаку обмежені і найбільш часто для просочування обмоток з емальованих проводів використовуються лаки марок МЛ-92, МГМ-8, КО-916к, КО-964Н, компаунди КП-34, КП-103 (сполуки без розчинників). Проводи з волокняної ізоляції допускають більш широкий вибір просочувального складу. Для них не викликає небезпеки висока цементуюча спроможність просочувального лаку. Обмотки обертових частин при використанні проводів з волокняною ізоляцією просочують в компаундах (типів КП та Б-ИД-9127), які забезпечують високу цементацію.

Розчинник лаків (ксілол, толуол) при сушінні повинні випаровуватися та виділятися з обмоток у вигляді летких речовин, які необхідно нейтралізувати та розсіяти в атмосфері. Тому обладнання для просочування повинно бути встановлено в окремому приміщенні. Сполуки без розчинників при затвердінні не виділяють шкідливих летких речовин, тому обладнання для просочування та сушіння можна розташовувати в загальному приміщенні.

В промисловості використовують декілька способів просочування і сушіння. При ремонті на невеликих ділянках використовують спосіб занурювання виробу в лак. Цей спосіб дозволяє на одному обладнанні просочувати вироби різних розмірів та конструкцій, однак його використання пов'язано з великою часткою ручної праці. Зазвичай при просочуванні використовують малов'язкі лаки з в'язкістю  $(40+50) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  (за віскозиметром ВЗ-4 при температурі лаку  $20^\circ\text{C}$ ) та вмістом шлівоутворюючих речовин 51–58%. Щоб внести в обмотку необхідну кількість лаку, виконують декілька просочувань, після кожного з яких обмотка просушується протягом 8–17 год.

Час знаходження виробу в лаку при першому просочуванні складає від 20 хв до 1 год, а при подальших – від 10 до 20 хв. Заповнення пор та порожнеч в ізоляції обмоток відбувається в основному при першому просочуванні, а інші просочування фактично є покривними.

Спосіб просочування виробу лаком в вакуумі з переходом до підвищеного тиску є менш гнучким, ніж спосіб занурювання, але дозволяє отримати більш високу якість просочування з меншою трудомісткістю і використовується на спеціалізованих підприємствах. Розглянемо цей спосіб просочування на прикладі установки типу АВБ-4 (Угорщина). Вироби, що просочуються, на підвісці по конвеєру подають в піч для сушіння. Після

сушіння виробу поступають в автоклав, в якому просочуються лаком в автоматичному циклі, після чого повертаються в піч для сушіння та запікання лаку. До складу установки входять вакуумні насоси для створення вакууму і тиску і електрошафи.

Автоклав являє собою кулькову посудину, яка складається з двох частин. Половини автоклава розкриваються і підвіска з виробами вводиться в зону автоклава. Після закриття автоклава гумові ущільнення забезпечують його герметичність. Вакуум і тиск створюються через штуцер, а лак подається через інший штуцер. Оглядове вікно дозволяє контролювати наявність лаку.

Цикл просочування в залежності від типу виробів може складати 6–16 хв. Відсутність повітря у виробі допомагає глибокому проникненню лаку в обмотку. Цей процес підсилюється при створенні підвищеного тиску після заповнення автоклава лаком. При такому способі просочування можна використовувати лаки з в'язкістю  $(55 \div 100) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$ . Створення вакууму після просочування приводить до випарування більше половини летких речовин та підвищення в'язкості лаку. При цьому лак стає настільки в'язким, що практично не витікає з обмотки після просочування і під час сушіння.

Використання більш в'язкого лаку, ніж при просочуванні занурюванням, і підвищення його в'язкості відразу після просочування дозволяє за одне просочування ввести в обмотку приблизно стільки ж лаку, скільки вноситься при двократному просочуванні занурюванням. Використання більш в'язкого лаку потребує менше часу для сушіння. Час просочування та сушіння зменшується в 4–6 разів у порівнянні зі способом занурювання. Особливо ефективний цей спосіб для багатовиткових котушок з тонкого проводу (обмотки електричних машин невеликої потужності, котушки апаратів, реле тощо).

## 5.5 Складання електричних машин після ремонту

**Балансування роторів.** Перед складанням виконують балансування роторів (якорів) та інших обертових деталей, якщо вони ремонтувалися або при передремонтних випробуваннях була виявлена підвищена вібрація. Згідно зі стандартами при відношенні осьового розміру деталі  $L$  до її діаметра  $D$  більше 0,2 компенсація нерівноваженості повинна здійснюватися в двох площинах виправлення, при  $L/D < 0,2$  – в одній площині. Деталі, які встановлено на збалансованому роторі, балансуються окремо. Якщо деталь встановлюють на ротор (якір) за допомогою шпонки, то вона балансується зі шпонкою, а ротор – без шпонки.

При одній площині виправлення ротор (якір) можна балансувати як статичним, так і динамічним способами, а при двох площинах – тільки динамічним [2, 8].

**Статичне балансування.** Ротор балансують на призмах (рис. 5.1). Відхилення площини призми від горизонтальної площини не повинно перевищувати 0,1 мм на 1 м довжини призми. Жорсткуватість поверхні призми  $R_a$  повинна бути не нижча 0,5, ширина  $a$  (мм) – не більше  $M/2d$ , де  $M$  – маса ротора (якоря), кг;  $d$  – діаметр шийки вала, розташованої на призмі, мм.

Ротор (якір) встановлюють на призму або на ролики та легким поштовхом виводять з рівноваги, надаючи йому можливість кататися по призмах або роликах. Після декількох качань незбалансований ротор (якір) зупиняється важкою стороною вниз. У верхній точці ротора встановлюють пробний вантаж та повторюють дослід. Так роблять декілька разів і підбирають масу вантажу. Ротор вважається збалансованим, якщо він зупиняється без качань в стані рівноваги. Пробний вантаж зважують та на його місце встановлюють штатний вантаж, який дорівнює за масою пробному.

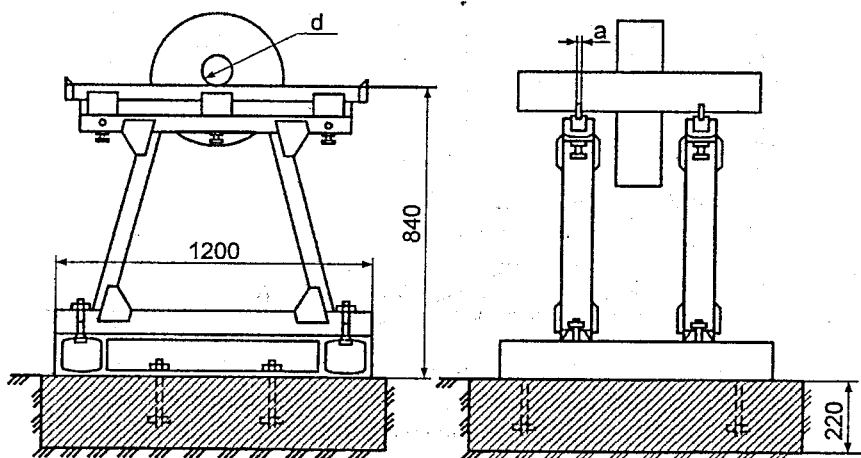


Рисунок 5.1 – Паралельні призми для статичного балансування роторів

Якщо деталі, що балансуються, не мають вала, то виготовляють тимчасовий технологічний вал, за допомогою якого здійснюють балансування.

**Динамічне балансування.** Ротор балансується на спеціальному верстаті при його обертанні. Сучасні балансувальні верстати, які обладнані електронними пристроями та візуальними індикаторами дисбалансу, дозволяють відразу визначити місце встановлення і масу вантажу або місце вилучення надлишків маси. Використання таких верстатів при ремонті доцільно, однак при великій номенклатурі машин, які ремонтуються, часте переналаджування зменшує ефективність верстатів та їх застосування не

завжди є економічно обґрунтованим. Використання більш простого універсального балансувального верстата (рис. 5.2) при ремонті дозволяє розв'язати цю задачу.

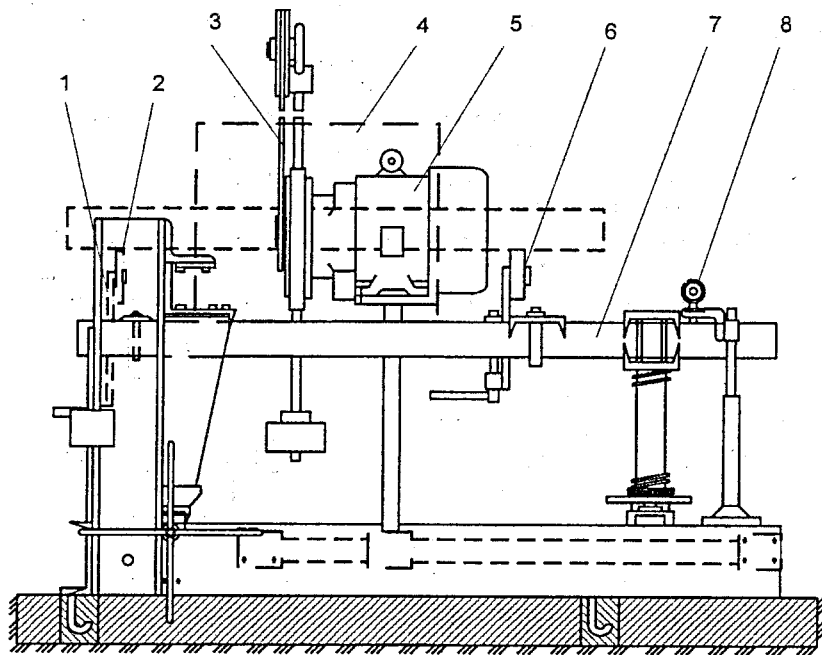


Рисунок 5.2 – Універсальний балансувальний верстат:

- 1 – плоска пружина; 2 та 6 – круглі опори; 3 – ремінь; 4 – ротор;  
5 – двигун; 7 – рама; 8 – стрілковий індикатор; 9 – пружина

Балансувальний ротор 4 встановлюють на чотири круглі опори 2 та 6. Опори розташовуються на рамі 7, яка складається з двох круглих балок. Двигуном 5 через ремінь 3 ротор приводиться до обертання. Ліва сторона рами кріпиться до основи плоскою пружиною 1 і при обертанні ротора починає коливатися під дією нерівноважених мас правої сторони ротора.

Величину коливань показує стрілковий індикатор 8. Після визначення величини коливань ротор зупиняється і навішують пробне навантаження (пластилін) на праву сторону ротора. Якщо при черговому обертанні величина коливань збільшується, це означає, що пробне навантаження встановлено неправильно. Пересовуючи навантаження по колу, знаходять місце, де його розташування викликає найменші коливання. Потім починають змінювати масу пробного навантаження, добиваючись мінімуму коливань.

Відбалансувавши праву частину, знімають пробне та встановлюють постійне навантаження. Потім ротор повертають і балансують другу сторону.

**Складання електричних машин.** Складання є заключним технологічним процесом, при якому вузли і окремі деталі з'єднуються в готовий виріб, який відповідає вимогам креслень та технічних умов. Від якості складання значною мірою залежать енергетичні та експлуатаційні показники машин – ККД, рівень вібрації та шуму, надійність і довговічність. Складання електричних машин після ремонту зазвичай проводиться стаціонарним концентрованим способом з індивідуальною пригінкою деталей за місцем або з використанням компенсаторів. При складанні необхідно використовувати деталі і складальні одиниці, які належать даній машині, тому що відокремлене складання, по-перше, може призвести до невідповідності характеристики машини вимогам стандартів. На якість складання впливають правильна організація робочого місця та використання справного інструменту. Складена машина піддається обкатуванню та випробуванням.

Перед початком складання зі складу доставляють справні деталі та вузли, а з механічної та ізоляційно-обмоткової ділянки – відремонтовані. За бірками визначають належність кожної деталі та вузла і комплектують їх. Можливий відокремлений ремонт, коли взаємозмінювані деталі та вузли однотипних двигунів використовують без бірок. До них належать підшипникові щити, ротори, статори тощо. При цьому можливо, що складена машина буде мати характеристики, які не відповідають стандартам. Тому, при можливості, цього потрібно уникати.

Складання машини здійснюється в порядку, який є зворотним розбиранню. Використовується практично той же інструмент. Особливу увагу звертають на правильність виконання робіт із складання підшипників, вентиляторів та різних втулок. Підшипники встановлюють в нагрітому стані, механічно впливаючи на внутрішню обойму (при встановленні на вал при посадці з натягом) інструментом, який має вставки з м'якого матеріалу. При встановленні вентиляторів зусилля докладають до сталених втулок, а не до алюмінієвих частин. При встановленні ротора (якоря) в статор (індуктор) потрібно бути уважним і не допускати дотику ротора до обмотки або осердя. Підшипникові щити потрібно встановлювати без перекошування, крутити болти по черзі, роблячи спочатку по 2 – 3 обороти, а далі – по частині обороту. Для складання внутрішньої підшипникової кришки до встановлення щита в ній встановлюють довгу технологічну шпильку, яку пропускають в один з отворів в щиту, а після його встановлення за нею підтягують кришку до щита та встановлюють 1 + 2 болти. Після цього шпильку можна викидати та вставляти болт. У внутрішніх болтових з'єднаннях не потрібно використовувати пружинні шайби, фіксацію болтів та гайок потрібно здійснювати більш надійними способами.

При складанні машини постійного струму полюси розташовують в такому ж порядку, що і до ремонту (встановлення виконується за мітками). Щітки не повинні звисати з колектора або щільно прилягати до півників.

Після закінчення складання перевіряють легкість обертання вала машини рукою або за допомогою важеля та відправляють її на випробування.

## 5.6 Випробування електричних машин після ремонту

Після ремонту проводиться обкатування машин та прийнятно-здавальні випробування згідно з нормами. Висновок про придатність до експлуатації дається не тільки на підставі порівняння результатів випробування з нормами, але і за сукупністю результатів усіх проведених випробувань та оглядів. Значення отриманих при випробуваннях параметрів повинні бути порівняні з вихідними даними, а також з результатами попередніх випробувань електричної машини.

Під вихідними даними маємо на увазі значення, які вказані в паспорті машини, в протоколах випробувань заводу-виробника, в стандартах та технічних умовах. При відсутності вихідних даних як такими можуть бути прийняті значення параметрів, які отримано при прийнятно-здавальних випробуваннях або випробуваннях після закінчення відновлювального ремонту електричної машини.

Після закінчення гарантійного терміну експлуатації за спеціальною програмою випробовують електричні машини іноземних фірм.

Програмою випробувань двигунів змінного струму після капітального ремонту передбачено такі операції [4, 9]:

- випробування сталі статора двигунів з обмотками з прямокутного проводу (питомі втрати – не більше 5 Вт/кг, найбільший перегрів зубців при  $B_z = 1$  Тл не повинен перевищувати 45 °С, найбільша різниця перегріву різних зубців при тій же індукції – не більше 30 °С);

- вимірювання опору ізоляції обмоток статора, ротора, термоіндикаторів зі з'єднувальними проводами (якщо вони є в даній машині) і підшипників;

- випробування обмоток статора і ротора на складеному двигуні підвищеною напругою промислової частоти протягом 1 хв. Значення випробувань напруг обмоток в процесі їх виготовлення та після складання машини наведено у додатку Б. Результати випробувань вважаються позитивними, якщо не спостерігаються змінні розряди, поштовхи струму стікання або зростання його усталеного значення, яке виміряне мегомметром після випробувань, залишилися попередніми;

- вимірювання опору обмоток статора і ротора постійному струму (проводиться для двигунів потужністю 300 кВт і більше або для двигунів з  $U_{ном} > 3$  кВ), а також реостатів і пускорегулюючих резисторів. Відхилення опору обмоток від паспортних даних і по фазах повинно бути не більше  $\pm 2\%$ , для реостатів – не більше  $\pm 10\%$ ;

- випробування виткової ізоляції обмоток з прямокутного проводу імпульсною напругою високої частоти протягом 5-10 с. Значення випробних напруг наведено у додатку Б;

- вимірювання повітряного зазору (якщо дозволяє конструкція) в чотирьох зсунутих на  $90^\circ$  точках (зазори, які вимірюються, не повинні відрізнятися від середнього значення більше ніж на 10%) та зазорів в підшипниках ковзання (допустимі значення зазорів наведено у додатку Б). Якщо зазор більше допустимого, необхідно перезалити вкладиші підшипника;

- перевірка роботи двигуна на холостому ході (для двигунів потужністю 100 кВт і більше та напругою 3 кВ і вище). Струм холостого ходу не повинен відрізнятися більше ніж на 10% від вказаного в каталозі при тривалості випробувань 1 год;

- вимірювання вібрації підшипників для двигунів напругою 3 кВ і вище та двигунів відповідальних механізмів. Максимально допустима амплітуда вібрації складає 50, 100, 130 і 160 мкм для двигунів з частотою обертання відповідно 3000, 1500, 1000 і 750 об/хв і менше;

- вимірювання розбігу ротора в осьовому напрямку проводиться для двигунів з підшипниками ковзання, двигунів відповідальних механізмів та при вийманні ротора в ході ремонту (допустимий розбіг – не більше 4 мкм);

- перевірка роботи двигуна під навантаженням для двигунів напругою понад 1 кВ або потужністю 300 кВт і більше (величина навантаження не менше 50% від номінального);

- гідравлічне випробування повітроохолоджувача (проводиться протягом 5 – 10 хв при надлишковому тиску 0,2–0,25 МПа);

- перевірка справності стержнів короткозамкнених обмоток роторів асинхронного двигуна потужністю 100 кВт і більше (усі стержні повинні бути цілими);

- перевірка спрацювання захистів машин напругою до 1000 В при живленні від мережі із заземленою нейтраллю (проводиться в машинах з  $U_{ном} > 42$  В, які працюють в небезпечних та особливо небезпечних умовах, а також у всіх машин з  $U_{ном} \geq 380$  В).

Програмою випробувань машин постійного струму після капітального ремонту передбачаються такі операції [2]:

- вимірювання опору ізоляції обмоток та бандажів;

- випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти протягом 1 хв (значення випробних напруг наведені в додатку Б). Ці випробування не проводяться для машин потужністю до 200 кВт з напругою до 440 В;

- вимірювання опору обмоток, реостатів та пускорегулювальних резисторів постійного струму в практично холодному стані. Значення опорів обмоток збудження не повинні відрізнятися від заводських значень більше

ніж на 2%, обмотки якоря – 10%. В колах реостатів та пускорегулювальних резисторів не повинно бути обривів;

- зняття характеристик холостого ходу та випробування виткової ізоляції. Характеристика холостого ходу знімається у генераторів (максимальна напруга – 1,3 номінальної, відхилення характеристик від заводської не нормується). Тривалість випробувань виткової ізоляції складає 5 хв, а середня напруга між сусідніми колекторними пластинами, якщо  $2p > 4$ , не повинно перевищувати 24 В.

### Контрольні запитання

1. Як визначити крок рівнокотушкової обмотки, якщо її замінюють концентрованою обмоткою?
2. Як відновити ізоляцію котушок, які використовуються повторно?
3. Чому при ремонті електричних машин не використовують механізовані способи укладання обмоток з круглого проводу?
4. Які є способи просочування обмоток? Їх недоліки та переваги.
5. В яких випадках необхідно проводити балансування роторів якорів?
6. Які недоліки має відокремлене складання?
7. Як здійснюють складання підшипників?
8. В якому об'ємі та з якою метою проводять післяремонтні випробування?

## 6 КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРІВ БЕЗ РОЗБИРАННЯ АКТИВНОЇ ЧАСТИНИ

На відміну від електричних машин будь-який ремонт масляних трансформаторів, який пов'язано з розкриттям бака, є капітальним. До капітального ремонту належить ревізія (ремонт за типовою номенклатурою). Потрібно відмітити, що трансформатори великої потужності ремонтують тільки за спеціальною для кожного трансформатора технологією.

### 6.1 Підготовка до капітального ремонту

Перед капітальним ремонтом попередньо проводять низку *організаційно-технічних заходів*, які забезпечують чітке виконання ремонтних робіт в короткочасні терміни та містять в собі [2]:

- складання документації;
- підготовку приміщення, вантажопідйомних механізмів, обладнання та матеріалів;
- проведення необхідних випробувань.

Крім того, складають відомість об'єму робіт, яка містить перелік та об'єм ремонтних робіт і є початковим документом для визначення витрат праці, терміну ремонту, необхідних матеріалів тощо.

Приміщення, в якому планується здійснювати ремонт, повинно бути захищене від пилу та атмосферних опадів, обладнано підйомними механізмами, електрощитом, вентиляцією; повинно відповідати протипожежним і санітарним вимогам. В цьому приміщенні розташовують бак трансформатора, його активну частину, стелажі для частин і деталей, які демонтуються, слюсарний верстат, апаратуру, що очищує масло, матеріали тощо.

В ряді випадків приходиться виконувати ремонт в тимчасово споруджених приміщеннях, а у виняткових ситуаціях – на відкритих майданчиках з використанням автокранів, електричних лебідок та інших вантажопідйомних пристроїв.

Для забезпечення безпеки робіт підйомні механізми до початку ремонту повинні бути змонтовані та перевірені. Вантажопідйомність механізмів, стропів, тросів вибирають відповідно до маси трансформатора, яка вказана на щитку і в технічному паспорті.

При вийманні з бака 1 (рис. 6.1, а) активної частини 2 трансформатора підйомні механізми підвищують на таку висоту, при якій відстань Г від крока до основи трансформатора не менше суми відстаней А, Д, Б, В. Розміри А і Б визначають за каталогом або кресленням трансформатора, розмір Д приймають рівним 100÷150 мм, розмір В відповідає довжині стропів 3. Аналогічні заходи проводять при підйомі знімної частини 4 (рис. 6.1, б).

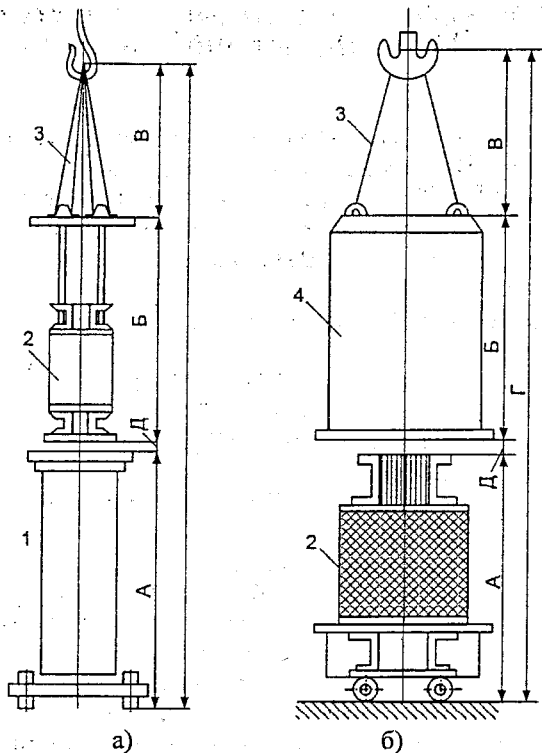


Рисунок 6.1 – Трансформатор:

- а) з піднятою активною частиною; б) з піднятою змінною частиною бака; 1 – бак; 2 – активна частина трансформатора; 3 – строп; 4 – змінна частина

Значний об'єм підготовчих робіт займає підготовка масла. Масло та маслоочишувальну апаратуру доставляють до ремонтного майданчика, прокладають маслопроводи, підготовляють ємності для зливання старого масла, встановлюють та підключають маслоочишувальну апаратуру.

Також повинні бути переведені та приведені в порядок шляхи для перекачування трансформатора в приміщенні, де буде здійснюватись ремонт. Після встановлення трансформатора для ремонту (до розкриття бака) визначають ізоляційні характеристики (для прийняття рішення про сушіння) і випробовують масло з бака на електричну міцність.

**Прийом трансформатора в ремонт.** Не всі трансформатори, які вийшли з ладу, підлягають ремонту. Не ремонтують трансформатори з магнітною системою з гарячекатаної сталі, яка обклеєна папером (через підвищення втрат холостого ходу), з практично повністю несправною магнітною системою (оплавлення пластин, «пожежа в сталі»), а також зі значним

пошкодженням баків, тому що для великого за об'ємом ремонту баків необхідне спеціальне обладнання, яким недоцільно укомплектувати електроремонтне підприємство.

При здаванні трансформатора в ремонт замовник складає наряд-замовлення, в якому вказує область застосування трансформатора; умови, в яких він експлуатувався (характер навантажень, наявність поштовхів і перевантажень, забрудненість повітря тощо); спеціальні вимоги, дефекти і несправності, які мали місце при експлуатації (протікання масла, підвищена температура масла, втрати тощо); види та терміни ремонту, яким підлягав трансформатор, зі вказуванням організації, яка виконувала ремонт.

Представники ремонтного підприємства знайомляться з технічною та експлуатаційною документацією трансформатора (паспорт, акти про аварії, журнали ремонту, протоколи випробувань тощо), оглядають та проводять дефектацію трансформатора. Всі відомості вони заносять у відповідні розділи відомості огляду та дефектації, після чого остаточно визначають потрібний об'єм ремонту. При ремонті із заміною обмоток оформлюється замовлення на постачання нових обмоток з підприємства-виробника, якщо ремонтне підприємство нові обмотки не виготовляє.

Після цього проводять ретельний *зовнішній огляд*, складають опис зовнішніх дефектів, які підлягають усуненню при ремонті (теча арматури, нещільність фланців, течя у зварних швах, порушення армування ізоляторів, сколи та тріщини на фарфорових вводах тощо); перевіряють справність маслопоказчика та термометра, після чого демонтують термометр, термометричний сигналізатор, пробивний запобіжник, кола сигналізації та захисту.

До початку розбирання очищують зовнішню поверхню трансформатора, використовуючи при сильному забрудненні металеві шкребки, щітки та серветки. Які змочують у розчиннику. Іноді очищують тільки кришку, а іншу поверхню очищують в ході ремонту активної частини.

При знаходженні витоків масла у зварних швах, фланцях або інших з'єднаннях для більш точного визначення дефекту спочатку створюють надлишковий тиск масла, а потім його повністю або частково зливають.

Якщо в день демонтажу зовнішніх пристроїв активну частину з бака не виймають, масло зливають до рівня верхнього ярма, щоб ізоляція та обмотки залишалися в маслі. Якщо ремонт планується закінчити за один прийом або виявлена необхідність сушіння активної частини, то масло зливають повністю через нижній кран бака за допомогою насоса. У трансформаторів I та II габаритів масло зливають самопливом. Якщо масло можна використовувати для подальшої експлуатації, його зливають у чистий бак з герметично закритою кришкою. Браковане масло зливають у ємність для брудного масла.

*При розкриванні* трансформатор встановлюють таким чином, щоб вісь кріюка підйомного механізму проходила через центр важкості трансформа-

тора. В цьому випадку при підйомі та опусканні активна частина не торкається до стінок бака.

**Розбирання** трансформаторів, на кришці яких змонтовано розширювач, запобіжна труба та інша арматура, виконують в такому порядку: спочатку демонтують газове реле, потім запобіжну трубу та розширювач. Отвори закривають тимчасовими фланцями, закріплюючи їх вільними болтами. Реле укладають на стелаж або відразу відправляють в електротехнічну лабораторію для перевірки та випробувань. При демонтажі розширювача закривають скло маслопоказчика тимчасовим щитком з фанери.

Для запобігання попаданню вологи в бак трансформатора та розширювач всі отвори розширювача та кришки бака закривають глухими фланцями, використовуючи для ущільнення старі гумові прокладки. Роботи з демонтажу кришки здійснюють обережно, щоб не пошкодити фарфорові вводи, скло маслопоказчика та газове реле. Потім знімають болти, які кріплять кришку. Після видалення болтів з отворів їх укомплектовують шайбами та гайками, укладають у відра або ящики та змочують гасом.

Подальша послідовність розбирання визначається конструктивним виконанням трансформатора. Якщо активна частина механічно зв'язана з кришкою вертикальними шпильками, то від'єднують роз'єм кришки від бака та виймають активну частину з бака разом з кришкою. Якщо кришка з активною частиною не зв'язана, то демонтують всі елементи, які встановлено на кришці (знімні вводи та привод перемикача відгалужень). Зняті фарфорові ізолятори оглядають, звертаючи увагу на місця поєднання глазурованої поверхні з кулачками, які притискають ізолятор до кришки, перевіряють наявність тріщин або сколів. Всі деталі вводів та приводу перемикача укладають на призначені для них місця. Вантажопідйомним механізмом або вручну піднімають кришку, щоб струмоведучі шпильки вводів та вал перемикача вийшли з отворів. Потім відводять кришку від бака, щоб бруд з неї не попав усередину трансформатора.

Найбільш відповідальною операцією є стропування та виймання активної частини з бака. Для стропування на активній частині є підйомні кільця (рими). У трансформаторів потужністю до 400 кВА їх два, у трансформаторів більшої потужності – чотири. На підйомні кільця та крок підйомного механізму надягають петлі стропів, а в отвори активної частини, яка зв'язана з кришкою, використовують стропи необхідної довжини, щоб шпильки не згиналися.

При кожному використанні підйомного механізму перевіряють роботу його гальма та надійність стропування вантажу. Активну частину піднімають над опорною поверхнею на 100–200 мм, декілька хвилин тримають у висячому положенні, потім опускають на дно бака і потім піднімають до зручного для промивання активної частини рівня над баком.

Перед **промиванням** активну частину оглядають, звертаючи увагу на місця відкладання шламу та забруднень в обмотках, в охолоджуючих каналах і на активній сталі. Велике накопичування шламу свідчать про наяв-

ність перегріву в цих місцях. Результати огляду записують у відомість дефектів.

Активну частину промивають струменем теплового чистого масла зі шланга, який проведено від ємності, яка піднята на висоту біля 3 м над підлогою. Ємність розрахована на 30–40 л, наповнюється теплим чистим маслом безпосередньо перед промиванням. При цьому намагаються ретельно промити масляні канали обмоток і магнітної системи, а також інші доступні для промивання частини трансформатора. Після закінчення промивання і стоку масла активну частину повністю виймають. Якщо підйомний пристрій має можливість горизонтального пересування, то активну частину транспортують на підготовлений майданчик та опускають на дерев'яні бруски, які розташовані в піддоні. Якщо такої можливості немає, то бак зсувають в сторону і на його місце ставлять піддон, в який встановлюють активну частину.

## 6.2 Ремонт активної частини трансформатора

*Ремонт обмоток.* При ремонті перевіряють якість пресування, відсутність деформації, справність паяння і контактів в місцях з'єднання відводів, а також стан ізоляції обмоток та відводів. Якість ізоляції визначається її фізико-хімічними властивостями: еластичністю, твердістю, пружністю, кольором. Ізоляцію прийнято вважати придатною до подальшої експлуатації, якщо вона еластична, не ламається, не дає тріщин при вигині під кутом  $90^\circ$  і має світлий колір.

Зараз для ізоляції, яка не просочена лаком, розробляється хімічний метод визначення ступеня її старіння, який оснований на зміні структури целюлози під впливом температури, вібрації та електромагнітних сил.

В процесі експлуатації трансформаторів виникає послаблення осевого пресування обмоток, яке викликане в основному усаджуванням паперової ізоляції через висушування. Виникає також зменшення осевих розмірів обмоток і кінцевої ізоляції від дії ударних сил при коротких замиканнях в процесі експлуатації, а також внаслідок неякісного складання. Послаблення пресування обмоток може призвести до їх руйнування при коротких замиканнях. Які викликають значні механічні зусилля. Послаблення пресування легко виявляється при спробі пресування рукою ізоляційних деталей та прокладок (при слабкому пресуванні вони зсуваються з місця). Для усунення цього дефекту в трансформаторах до III габариту обмотки підпресовують ярмовими балками шляхом підтягування гайок вертикальних шпильок (рис. 6.2).

При значному послабленні пресування іноді полегшують затягування балок верхнього ярма та вертикальне стягування між верхніми та нижніми ярмовими балками. При неоднакових осевих розмірах обмоток ВН та НН в обмотки закладають додаткову ізоляцію у вигляді розрізних кілець та прокладок, які вирівнюють їх осеві розміри. Потім обмотки пресують ве-

ртикальним стягуванням ярмових балок. Після остаточного пресування обмоток і затягування ярма мегомметром вимірюють опір ізоляції стягувальних шпильок. Заземляють гнучкою перемичкою, яка з'єднує його з ярмовою балкою (рис. 6.3).

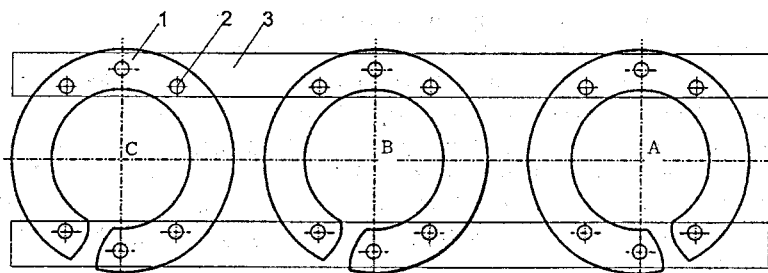


Рисунок 6.2 – Розташування пресувальних кілець в трифазному трансформаторі при загальному пресуванні:

1 – кільце; 2 – місця встановлення натискних гвинтів; 3 – контур розташування ярмових балок

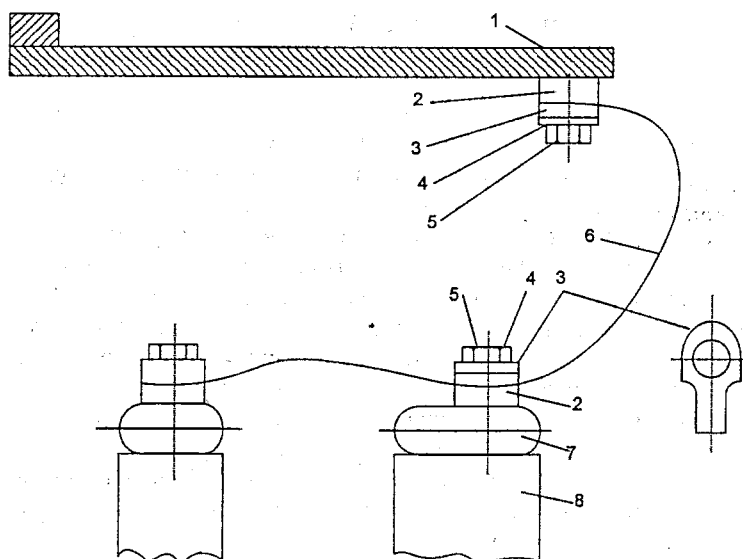


Рисунок 6.3 – Заземлення пресувальних кілець при роздільному пресуванні обмоток:

1 – полка ярмової балки; 2 – бобишка; 3 та 4 – стопорна та пружинна шайби; 5 – болт; 6 – заземлювальна шинка; 7 – пресувальне кільце; 8 – обмотки

З метою економії металу, удосконалення конструкції і зменшення додаткових втрат зараз розроблені конструкції пресувальних кілець з дерев'яно-шарових пластиків.

Підпресування обмоток, які мають натискні гвинти та кільця, виконують у такій послідовності: рівномірно у перехресному порядку послаблюють гайки, які запобігають самовикручуванню натискних гвинтів, до кінця закручують гвинти та затягують гайки; підтягують кріплення заземлювальних перемичок, які з'єднують пресувальні кільця з ярмовими балками. Заземлювальні перемички попередньо від'єднують від ярмових балок та вимірюють опір ізоляції натискних кілець відносно ярмових балок і магнітної системи.

В наш час розроблені різні конструкції автоматичного пресування, яке здійснюється в процесі роботи трансформатора. Найбільш ефективною з них є конструкція з гідропружинним запірним пристроєм (рис. 6.4). Цей дешевий та простий у виготовленні пристрій виправдав себе на потужних трансформаторах класу 110–220 кВ.

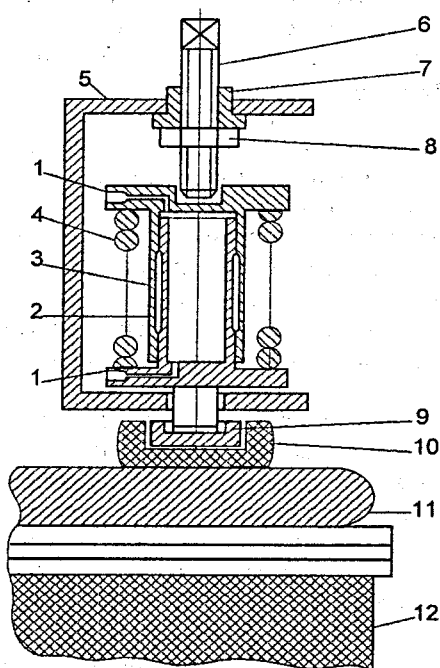


Рисунок 6.4 – Гідропружинний запірний пристрій:

- 1 – ніпель; 2 та 3 – рухомі циліндри; 4 – гвинтова пружина; 5 – ярмова балка; 6 – натискний гвинт; 7 – гайка; 8 – контргайка; 9 – сталевий башмак; 10 – текстолітовий башмак; 11 – кільце; 12 – обмотка.

Гідропружинний пристрій конструктивно являє собою два встановлених один в другий сталених взаєморухомих циліндри 2 і 3, які заповнені трансформаторним маслом, і сумішених зі стиснутою винтовою пружиною 4, розташованою зовні циліндрів. При усаджуванні ізоляції обмоток рухомі циліндри 2 і 3 під дією розстискувальної пружини 4 розсуваються і у внутрішню їх порожнину додатково всмоктуються в бак трансформатора необхідна кількість масла (через отвори нижнього і верхнього ніпелей). Під час короткого замикання електродинамічні зусилля від обмоток 12 через сталений 9 та текстолітовий 10 башмаки передаються на гідродомкрати; тиск масла в порожнинах циліндрів різко зростає і масло запирається конусною частиною ніпеля 1.

Гідропружинний пристрій розташовується між пресувальним кільцем 11 та стискими гвинтами 6. Можливі і інші варіанти установа. На рисунку 6.4 показано установа гідропружинного пристрою в ярмовій балці 5. В процесі складання в фасонні гайки 7 до кінця в циліндри 2 і 3 закручують натискні гвинти 6 і ставлять контргайки 8. Далі в процесі роботи трансформатора під пресування відбувається автоматично. Трансформаторне масло, яким заповнено резервуар гідропружинного домкрата, витримує дуже великі ударні навантаження. Масло служить добрим амортизатором, поглинаючи енергію удару.

При ремонті обмоток оглядають виткову ізоляцію і, якщо виявляють місця пошкоджень, витки ізолюють попередньо висушеною стрічкою з маслостійкої лакотканини, яку пропускають між витками. При достатньо добрій якості виткової ізоляції крайні витки в місці додаткового ізолювання обережно розсовують електрокартонним клином для зручності пропускання стрічки. У випадку пошкодження ізоляції у віддаленій частині котушки між витками закладають смужку з електрокартону товщиною  $0,3 \div 0,5$  мм. В місці, де ізоляція витка відновлена, на котушку накладають бандаж з тафтяної стрічки. Операцію виконують акуратно, щоб не пошкодити ізоляцію інших витків.

**Ремонт магнітної системи.** Його починають з перевірки чистоти вентиляційних каналів та відсутності на їх поверхні місць перегріву. Ознаками місцевих перегрівів є наявність кольорів мінливості (зміна кольору сталі на жовтий, фіолетовий, сірий тощо) і продуктів розкладання масла у вигляді запеченої маси. В сухих трансформаторах вентиляційні канали продувають стислим повітрям, в масляних — промивають струменем гарячого трансформаторного масла.

Потім перевіряють щільність пресування активної сталі ярма, якість ізоляції пластин, опір ізоляції натискних шпильок, стан заземлювальних перемичок між ярмовою балкою та магнітною системою, відсутність дрібних зовнішніх дефектів.

Вимірювання опору ізоляції проводять за допомогою мегомметра. Якщо опір ізоляції однієї або декількох шпильок значно менший, ніж інших, або дорівнює нулю, відкручують гайки, витягають шпильки з отворів у яр-

мі разом з ізолюючими їх паперово-бакелітовими трубками, і оглядають їх. При наявності на ізоляційних трубках та шпильках ознак надмірного перегріву та при виявленні замикання листів активної сталі (в результаті огляду отворів в ярмі за допомогою переносної лампи) верхнє ярмо розбирають для усунення пошкоджень, а його пластини при необхідності підлягають переізолюванню. Пошкоджені шпильки та ізоляційні трубки замінюють на нові.

Перед остаточним пресуванням ярма, від балки, яка пресується, віддаляють заземлювальну стрічку та вимірюють опір ізоляції ярмових балок відносно активної сталі, а також якість ізоляції ізоляційних прокладок, які встановлено між активною сталлю та ярмовими балками.

При добрій якості ізоляції встановлюють на місце заземлювальну стрічку, гайки натискних шпильок затягують до кінця та розкривають їх для запобігання самовідкручуванню, а кінці всіх дерев'яних та текстолітових шпильок перев'язують тонкою мотузкою.

В магнітних системах безшпильової конструкції підпресування ярма здійснюють підтягуванням гайок на зовнішніх шпильках, скобах і півбандажах. Перевіряють якість ізоляції півбандажів та відсутність в їх колі замкнутого контуру, вимірюють опір ізоляції підйомних пластин (розташованих уздовж стержнів) відносно активної сталі.

При виконанні усіх робіт на магнітній системі обмотки повинні бути ретельно закриті для запобігання попаданню на них сторонніх предметів.

**Ремонт відводів.** При огляді відводів звертають увагу на їх ізоляцію та з'єднання (контакти). Ознакою порушення контакту відводу, який працює в маслі, є потемніння ізоляції, а також відкладання на їх поверхні чорної запеклої маси. Виявлені дефекти з'єднання перепаюють і ізолюють. Кріплення відводів підтягують планками, шпильками і гайками.

### 6.3 Ремонт перемикальних пристроїв та механічних вузлів

**Ремонт перемикальних пристроїв.** При ремонті пристроїв перемикачання без збудження (ПБЗ) ретельно оглядають всі контакти з'єднання перемикача та відводів; визначають щільність прилягання контактів, перевіряючи зазор між ламелями і шупом; вимірюють перехідний електричний опір. Особливу увагу звертають на стан контактної поверхні. При наявності підгоряння або оплавлення пристрій замінюють (в залежності від характеру або ступеня пошкодження пристрій іноді відновлюють). Для видалення нальоту, який створюється при роботі в маслі, контактну частину перемикача ретельно протирають технічною серветкою, яка змочена в ацетоні або бензині. Іншу частину промивають чистим трансформаторним маслом.

При ремонті перемикальних пристроїв регулювання під навантаженням (РПН), крім загальних робіт із очищення, протирання і промивання зовнішніх та внутрішніх поверхонь деталей та частин пристрою перевіряють контактні поверхні вибирача ступенів, контакторів та електричної частини

приводного механізму. Підгорілі контакти вибирача, головні контакти контактора та привода ретельно зачищають і перевіряють на щільність прилягання, після чого з'ясовують і усувають причину підгоряння.

Відмова в роботі привода перемикача може бути викликана попаданням вологи через погану герметичність дверцят шафи, а також через значні люфти з'єднувальних валів. Виявлені дефекти усувають. З дна бака контактора видаляють осадки, які залишилися після заливання масла, а також виконують інші роботи відповідно до інструкції пристрою РПН.

**Ремонт вводи, бака, розширювача, радіаторів та інших пристроїв, які розташовано на баку.** При ремонті *вводи* демонтують, ретельно оглядають та перевіряють стан фарфорових ізоляторів, прокладок, справність різьби на струмопровідному стержні та гайках. Пошкоджені фарфорові ізолятори замінюють новими, струмопровідні частини та кріплення при виявленні дефектів відновлюють. Після очищення та промивання ввод складають, гумові ущільнення, як правило, замінюють новими.

На кришках трансформаторів до III габариту включно вводи, перемикальні пристрої, крани та інші частини закріплюють шпильками. Тому після очищення та протирання кришки всі шпильки оглядають і при необхідності ремонтують. При встановленні та кріпленні вводи дотримуються особливої обережності. Вводи повинні стояти без перекосів і мати рівномірне затягування, що досягається перехресним підтягуванням гайок.

У трансформаторів I–III габаритів ізолятор вводу притискують кулачками 5 (рис. 6.5) за допомогою шпильок 2, які закріплені до кришки 6 за допомогою зварювання. При складанні на прокладку 7 встановлюють ізолятор 1, надягають на шпильки кулачки, а на них фасонний (стопорний) фланець 4 і за допомогою гайок 3 притягують ізолятор до кришки.

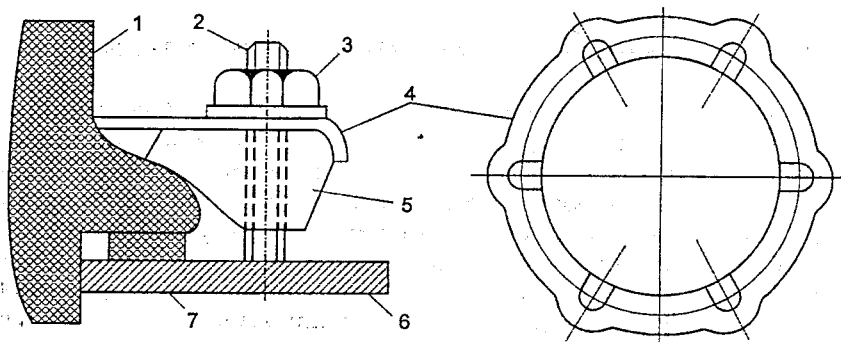


Рисунок 6.5 – Кріплення вводу до кришки кулачками:

1 – ізолятор; 2 – шпилька; 3 – гайка; 4 – фланець; 5 – кулачок; 6 – кришка;  
7 – прокладка

В трансформаторах IV–VIII габаритів кулачки притискають ізолятор болтами, які вкручуються в проміжний фланець, закріплений до кришки зварюванням. Послідовність монтажу така: на фланець з фасонним фланцем, через кулачки, пропускають болти та закручують їх в різьбові отвори фланця, кріплять вводи до кришки.

**Бак** повинен бути відремонтований до кінця ремонту активної частини. При ремонті з бака повністю зливають масло, демонтують розташовані на стінках пристрої, протирають внутрішні та зовнішні поверхні. Якщо при огляді бака були виявлені місця течі масла, тріщини або дефекти в місцях зварювання їх усувають за допомогою електрозварювання. При зварювальних роботах стінки бака насухо протирають. З борта рами та фланців демонтованих пристроїв виймають непридатні прокладки і ретельно очищають поверхні, на яких вони були встановлені.

Баки трансформаторів забезпечуються кранами вентиляного типу. Ремонт кранів виконують в такій послідовності: знімають болти кріплення вентиля до бака; розбирають, чистять і промивають деталі вентиля гасом; знімають сальникову набивку. Якщо вентиль після складання та випробування не забезпечує необхідну щільність, то протирають його посадочні поверхні. Складання вентиля виконують у порядку, зворотному розбиранню. Потім за розмірами фланця вирізають гумову кільцеву прокладку та встановлюють кран на старе місце. Забруднене масло пускають через зливний отвір в дні бака. Пробку зливного отвору ущільнюють льняним волокном, яке просочене бакелітовим лаком.

Для ущільнення *кришки* 2 (рис. 6.6) болтами 4 на борт бака укладають прокладку 3. Щоб при затягуванні болтів прокладка не витискувалася всередину бака, використовують різні способи її установа. На рисунку 6.6, а показано спосіб, при якому уздовж всього периметра рами 5 приварюють сталевий пруток діаметром 4–5 мм. Аналогічний спосіб зображено на рисунку 6.6, б, але роль прутка виконує стінка бака, яка виступає над площиною рами. В окремих випадках виготовляють суцільну прокладку 3 з рулонної гуми і закріплюють її так, як показано на рисунку 6.6, в. Таке ущільнення зустрічається в трансформаторах старих випусків.

При виготовленні прокладок зі стрічкової гуми стики смужок склеюють і розташовують так, щоб вони знаходилися між отворами рами бака. На рисунку 6.7 показано один з найбільш розповсюджених способів з'єднання прокладок на стик і наведено розміри стику в залежності від товщини прокладки.

При ремонті *розширювача* оглядають його внутрішню поверхню, верхня частина якої при роботі тривалий час стикається з теплим (іноді вологим) повітрям і тому піддається корозії. Якщо корозія незначна, розширювач промивають і декілька разів ополіскують чистим маслом. При значній корозії іржу видаляють сталевими щітками і фарбують внутрішню поверхню розширювача емаллю 624С або 1201. Для зручності ремонту та фарбування в бокових частинах розширювачів є люки.

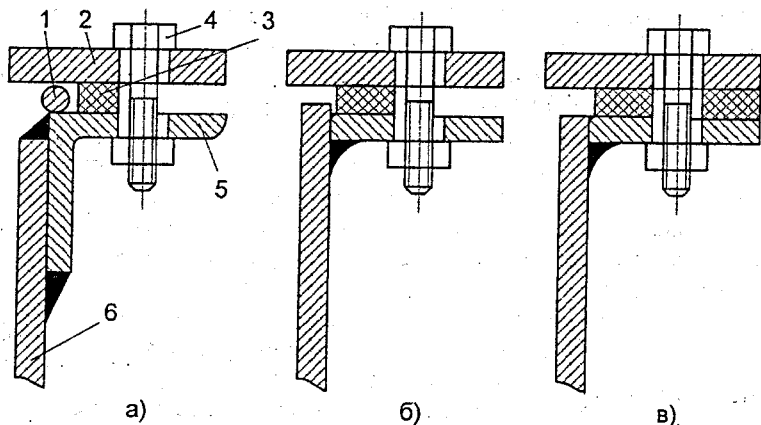


Рисунок 6.6 – Установлення прокладки:

1 – сталевий пруток; 2 – кришка бака; 3 – прокладка ущільнення; 4 – болт;  
5 – рама бака; 6 – стінка бака

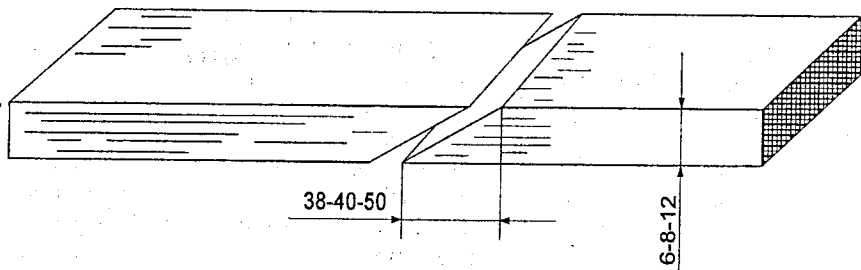


Рисунок 6.7 – З'єднання гумової прокладки в стик

**Пробки, відстійник та маслопоказчик** очищують і промивають гасом, а гумові прокладки і сальникові ущільнення замінюють новими. З відстійника розширювача спускають залишки забрудненого масла. Потім промивають відстійник чистим маслом і замінюють ущільнення на пробіні спускного отвору.

Одночасно з ремонтом бака та його арматури ремонтують радіатори (охолоджувачі), запобіжну трубку, осушувач повітря, термосифонний фільтр та їх крани. Ремонт цих пристроїв в основному включає ті самі операції, що й ремонт бака: очищення, промивання, перевірку та відсутність течі, виготовлення та заміну прокладок, фарбування, заміну сальникової набивки в кранах і ущільнень пробок.

**Радіатори** при ремонті опресовують гідравлічним пресом. При виявленні течі внутрішню поверхню радіатора відпаровують, промивають гарячою водою, заварюють тріщини електрозваренням і повторно опресовують. Якщо течі немає, радіатор промивають гарячим маслом і закривають патрубки глухими фланцями на гумових прокладках. У такому вигляді вони зберігаються до моменту встановлення на бак. Якщо при першому опресуванні теча в радіаторах не виявлена, їх ставлять на козел, нахиливши вбік і за допомогою фільтра-преса ретельно промивають гарячим трансформаторним маслом. На кожний патрубок радіатора встановлюють по дві прокладки 1 (рисунок 6.8): одну між фланцем 2 радіатора і радіаторним краном 3, іншу – між краном та фланцем 4 патрубка бака. Прокладку вирізають за розмірами крана з листової маслястійкої гуми товщиною 8–10 мм. Отвори в прокладці пробивають спеціальним інструментом.

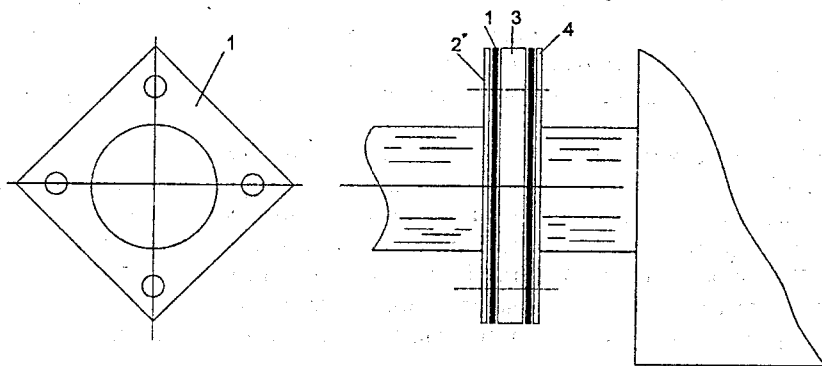


Рисунок 6.8 – Установлення прокладок на фланцях радіатора:  
1 – прокладка; 2 – фланець радіатора; 3 – кран; 4 – фланець патрубка бака

Якщо при ремонті радіаторів і термосифонних фільтрів проводилося зварювання, то їх випробовують надлишковим тиском масла на герметичність. Як правило, в термосифонному фільтрі та осушувачі повітря замінюють силікагель.

#### 6.4 Заключні операції при капітальному ремонті

**Встановлення активної частини в бак.** Після ремонту кришки, укрупнення її вводами та іншою арматурою, приєднання всіх вводів активну частину ретельно обтирають (за винятком обмоток, які тільки промивають маслом) і остаточно оглядають. Вимірюють опір ізоляції обмоток та натискних шпильок, після чого переходять до попередніх випробувань, які дозволяють оцінити стан ізоляції трансформаторів. При значному відхиленні характеристик ізоляції від нормованих активну частину піддають

сушінню. Якщо при випробуванні дефектів не виявлено і ізоляція не зволожена, активну частину встановлюють в бак.

В залежності від маси активної частини трансформатора та його потужності використовують декілька способів її кріплення в бак.

Активну частину трансформаторів потужності до 250 кВА після встановлення в бак кріплять кутиками і скобами, які приварені до стінки бака та ярмових балок; потужністю 400–1600 кВА і більше – скобами та крюками, які з'єднані з ярмовими балками і стінками бака; потужністю 2500 кВА і більше – стопорними гвинтами, які одними кінцями під'єднані до приварених до стінок бака стаканів, а іншими – до розпірних пластин, які встановлено на ярмових баках.

Після встановлення активної частини в бак і затягування болтів кришки за допомогою центрифуги або фільтра-преса трансформатор заповнюється сухим чистим маслом дещо вище рівня верхнього яра. Температура масла, що заливається, повинна бути не нижче 10 °С. Щоб повітря виходило з бака при його заповненні маслом, один з отворів в кришці тримають відкритим, захистивши його від випадкового попадання сторонніх предметів.

**Встановлення розширювача, газового реле та інших пристроїв.** Після встановлення кришки та заливання активної частини маслом монтують всі зовнішні вузли, в тому числі розширювач, газове реле, запобіжну трубку і інші пристрої. При цьому всі прокладки ущільнень замінюють на нові.

**Газове реле** встановлюють після попередньої перевірки в лабораторії його пошлавкової системи, електричних кіл та герметичності. Крім того, перевіряють роботу крана маслопроводу, який з'єднує розширювач з баком.

Приклади для вимірювання температури монтують після попередньої їх перевірки та транспортування трансформатора на місце установа.

**Випробування трансформатора на герметичність.** Після повного складання трансформатор доливають маслом з тієї ж партії, з якої здійснювали наповнення бака, і випробовують на герметичність. При цьому для сполучення бака із зовнішнім повітрям і заповнення пристроїв маслом відкривають кран, який встановлено між газовим реле та розширювачем, ввертають верхню пробку розширювача, всі повітряні гвинти та пробки на вводах, радіаторах, термосифонних фільтрах та інших пристроях, де вони передбачені. Коли масло починає проходити, пробки і гвинти закручують і ущільнюють (азбестом). Потім масло доливають до нормального рівня в розширювачі (за маслопоказчиком).

Часто доливання масла поєднують з контрольним випробуванням герметичності трансформатора. Для цього в пробку розширювача або кришки встановлюють трубу з лійкою (рис. 6.9). Висота рівня масла в місці над кришкою складає для трансформаторів з трубними та гладкими баками 1,5 м, а з хвиловими (гофрованими) та радіаторними – 0,9 м, висота над верхньою точкою розширювача відповідно – 0,6 та 0,3 м. Такий рівень ма-

сла витримують протягом 3 год. Трансформатор вважають витримавши випробування, якщо за цей час не виявляються проходження та витікання масла. Якщо течі вдалося усунути підтягуванням ущільнень, то з цього моменту витримують рівень масла 3 год, після чого випробування закінчують.

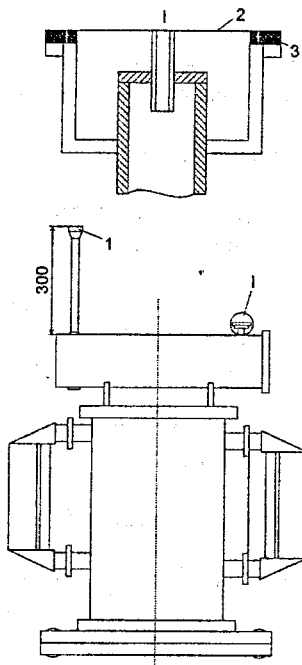


Рисунок 6.9 – Випробування трансформатора на герметичність:  
1 – труба з лінійкою; 2 – кришка масляного затвора; 3 – шайба

При ремонті баків і радіаторів іноді використовують гідравлічний прес для випробування надлишковим тиском. Після перевірки герметичності масло спускають через нижній кран до нормального рівня, спостерігаючи за роботою маслопоказчика. Якщо він справний і з'єднується з розширювачем двома патрубками, то рівень масла в склі знижується плавно, без зривів та сплесків.

Після повного видалення з масла повітря (8÷10 год після доливання) беруть пробу масла для скороченого хімічного аналізу та випробування на електричну міцність.

Після завершення повного складання та випробування на герметичність зовнішню поверхню трансформатора покривають антикорозійними та маслостійкими емаліями світлих тонів, які наносять на чисту поверхню.

При цьому вводи та прилади обгортають папером, щоб уникнути на них попадання фарби.

Після закінчення ремонту трансформатор підлягає контрольним випробуванням в такому обсязі [2]:

- випробування трансформаторного масла на електричну міцність;
- вимірювання характеристик ізоляції ( $R_{60}, R_{60/15}$ ), смісні характеристики та tg $\delta$  ізоляції);
- випробування головної ізоляції прикладеною напругою;
- вимірювання опору обмоток постійному струму.

### Контрольні запитання

1. За якою ознакою можна класифікувати ремонт трансформаторів?
2. Які організаційно-технічні заходи необхідно здійснити перед проведенням ремонту?
3. В якій послідовності виконуються основні види робіт до початку ремонту активної частини трансформатора?
4. Які операції виконують при ремонті обмоток без розбирання активної частини?
5. Як проводять ремонт магнітної системи трансформатора?
6. Які основні роботи проводять при ремонті перемикальних пристроїв та відводів?
7. Як здійснюється опускання активної частини в бак та заливання його маслом?
8. Які випробування проводять після складання трансформатора?

## 7 КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРІВ ІЗ РОЗБИРАННЯМ АКТИВНОЇ ЧАСТИНИ

В процесі капітального ремонту із розбиранням активної частини технологія ремонту обмоток і магнітної системи, а також наступне складання повинні бути максимально наближені до заводського. Обов'язковим для цього виду ремонту є сушіння активної частини трансформатора та очищення масла. Після капітального ремонту відповідно до вимог виконують комплекс випробувань, за результатами яких складають протокол випробувань, який є основним документом відремонтованого трансформатора. При здаванні відремонтованого трансформатора замовнику складають приймально-здавальний акт, в якому перелічені всі виконані роботи та даються рекомендації щодо використання трансформатора в частині спеціальних вимог (паралельної роботи, несиметричних режимів тощо).

### 7.1 Дефектація трансформатора

В ході огляду активної частини трансформатора, її окремих елементів та деталей вимірюють магнітну систему, обмотки, ізоляційні відстані тощо, складають ескіз активної частини трансформатора (рис. 7.1). Крім того, заповнюють карту обмірів, в яких фіксують також результати проміжних випробувань в процесі ремонту окремих вузлів трансформатора. Для запобігання помилкам при вимірюваннях всі заміри необхідно порівнювати із загальними розмірами магнітної системи.

При дефектації у складеному вигляді в об'єм капітального ремонту входять повна або часткова заміна обмоток і головної ізоляції, ремонт магнітної системи з повним або частковим переізолюванням пластин, реконструкція або заміна окремих пристроїв, системи охолодження, пристроїв перемикання відгалужень тощо.

При капітальному ремонті розбирають частину трансформатора, для чого демонтують трансформатор в певній послідовності.

Після розсихтування верхнього ярма знімають обмотки та ізоляцію. При необхідності переізолювання пластин магнітну систему розбирають. Після розбирання трансформатора здійснюють дефектацію його частин, визначаючи які вузли та деталі підлягають ремонту, а які потрібно замінити на нові.

Кожному трансформатору, який приймають в ремонт, надається ремонтний номер, відповідно до якого при розбиранні маркують всі частини, які знову встановлюють на трансформатор після ремонту. До розбирання визначається комплектність трансформатора, а на всі невизначені частини складають окремий список, який додається до відомості огляду та дефектації.

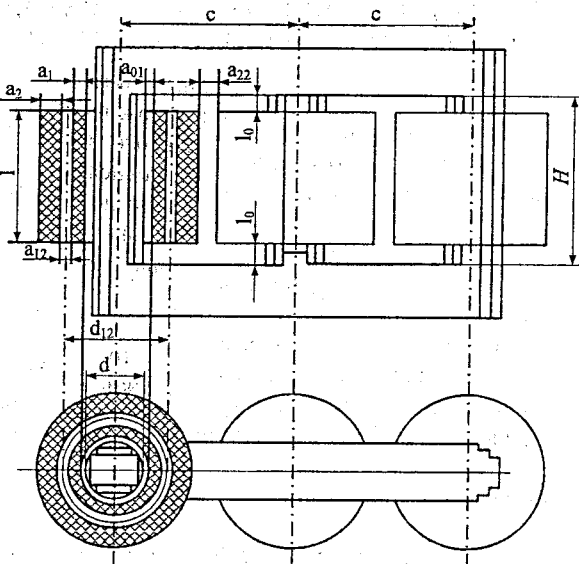


Рисунок 7.1 – Ескіз активної частини трансформатора

Для виявлення течі масла оглядають бак, позначаючи крейдою місця протікання. Потім визначають стан вводів. До дефектації у складеному вигляді належать і попередні електричні випробування, які необхідні для визначення наявності пошкоджень та їх характеру: відбирання проби масла для випробування його електричної міцності та скороченого хімічного аналізу; вимірювання характеристик ізоляції.

При розбиранні трансформатора кожний вузол або деталь, демонтовані з нього, дефектують і визначають об'єм ремонтних робіт, які необхідно виконати для їх наступного установаження на трансформатор.

Розглянемо послідовність робіт та технологічні операції з моменту виймання активної частини з бака (для трансформаторів II та III габаритів).

При огляді активної частини визначають стан ізоляції обмоток та виводів, якість пресування обмоток, відсутність дефектації та інших пошкоджень обмоток. Паперову ізоляцію перевіряють на відсутність пошкоджень та визначають її механічну міцність, умовно поділяючи на еластичну (1 клас міцності, при згинанні вдвоє не ламається), тверду (2 клас міцності, при згинанні вдвоє створюються тріщини), ламку (3 клас міцності, при згинанні вдвоє ізоляція ламається) і ветху (4 клас міцності, при згинанні до прямого кута ізоляція ламається).

Визначають також стан головної ізоляції, відсутність деформації обмоток і зсуву витків. В залежності від конструкції та причин виникнення де-

фектів може бути розглянуто питання про повну зміну конструкції обмоток та головної ізоляції.

Оглядають та фіксують в відомості дефектів стан відводів, перемикача відгалужень, контактів та паянь, стикувальних шпильок та їх ізоляції, перевіряють справність заземлення магнітопроводу, відсутність короткозамкненого контуру в магнітній системі та виконання умов, які виключають його утворення. Якщо активна частина підлягає розбиранню, то перед демонтажем відводів виконують ескіз їх розташування і кріплення планками.

За результатами дефектації активної частини остаточно встановлюють об'єм ремонту трансформатора. При належному стані обмоток і магнітопроводу активну частину ремонтують в об'ємі, який розглянуто в розділі 6. При необхідності (за станом ізоляції) активна частина може підлягати сушінню.

Якщо об'єм ремонту потребує повної дефектації, визначають розміри обмоток та їх частин, окремі ізоляційні відстані, розміри ізоляційних циліндрів, кількість витків в окремих котушках, конструкцію і стан внутрішніх обмоток, а також конструкцію і стан всієї внутрішньої ізоляції (від обмотки до стержня і між обмотками).

При дефектації важливо правильно визначити розміри проводу та кількість витків в обмотках. При відсутності технічного паспорту на трансформатор, кількість витків в обмотці фази можна визначити за допомогою контрольної обмотки, яка намотується на ізоляційний циліндр з м'якого електрокартону поверх комплекту обмоток трансформатора. Для виключення помилок при дефектації здійснюється розрахункова перевірка та зіставлення отриманих даних.

## 7.2 Демонтаж активної частини трансформатора

*Демонтаж кришки та відводів.* Демонтаж кришки бака був розглянутий в попередньому розділі. При огляді вводів визначають можливість їх повторного використання. Якщо немає місцевих пошкоджень, відводи демонтують (в місці з'єднання з обмоткою відвод очищають ножем від ізоляції, при великому перерізі відновлюють відвод за допомогою спеціальних кліщів з вугільними електродами). Якщо всі відводи мають належну ізоляцію і не потребують заміни, їх знімають разом з дерев'яною рамною конструкцією, що дозволяє скоротити об'єм робіт при складанні.

Перед від'єднанням відводи маркують з позначенням вводів та затискачів перемикача). Вводи та перемикач відгалужень демонтують до або після від'єднання кришки від активної частини.

*Розшихтування верхнього ярма, демонтаж обмоток та ізоляції.* Розбирання активної частини починають з розпресування обмоток та верхнього ярма. Ярмові балки зі сторони ВН та НН не є взаємозамінюваними (рис. 7.2), тому перед зніманням їх маркують. В процесі розшихтування верхнього ярма за першими виїнятими пластинами встановлюють якість їх

ізоляції та необхідність їх відновлення. Як правило, весь демонтований комплект пластин верхнього ярма укладають в контейнер, який відправляють до лакувальної установки.

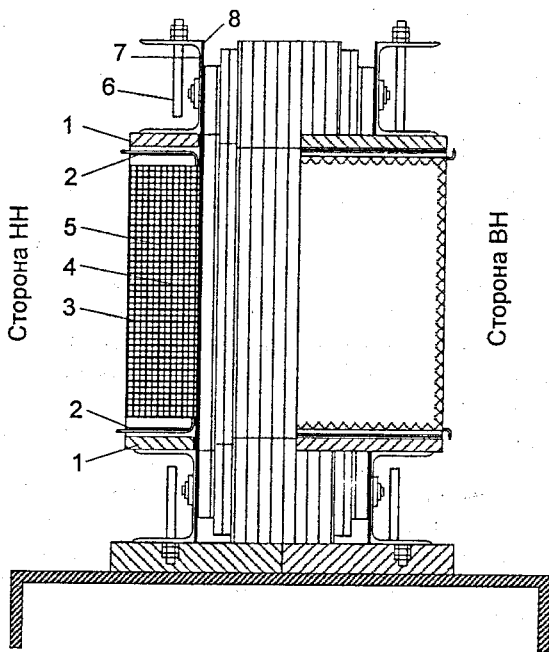


Рисунок 7.2 – Активна частина трансформатора (вид збоку):

- 1 – зрівнювана ізоляція; 2 – ярмова ізоляція; 3 та 4 – обмотки ВН і НН;
- 5 – ізоляційні циліндри; 6 – вертикальні стягувальні шпильки; 7 – верхня ярмова балка; 8 – ізоляційна прокладка

Пристаюючи до демонтажу обмоток і ізоляції, вже можна оцінити їх стан та прийняти рішення про їх використання після усунення несправностей. Якщо обмотки не замінюють, а тільки ремонтують або знімають для усунення несправностей в магнітній системі (стержні або нижньому ярмі), то деталі головної ізоляції знімають, оглядають, усувають невеликі дефекти та використовують в подальшому. При пошкодженні хоча б однієї з обмоток у більшості випадків демонтують зі стержнів усі обмотки, тому що металеві оплавлення та кіптява, які виникають під дією електричної дуги, осідають на усіх обмотках та ізоляції.

Обмотки, які мають велику масу, знімають спеціальними знімальними пристроями. При ремонті, наприклад, трансформаторів I та II габаритів він являє собою двопроменеву траверсу, яка дозволяє не тільки знімати та на-

саджувати обмотку, але і транспортувати її (рис. 7.3) Знімач має висувні лапи та тримачі, які обтягнуті гумою. Лапи заводять під обмотку так, щоб вони не стикалися із сусідньою обмоткою та її ізоляцією. Пристосування для знімання та насаджування обмоток трансформаторів IV÷VII габаритів виконують трипроменевим (з трьома тягами) під кутом 120°.

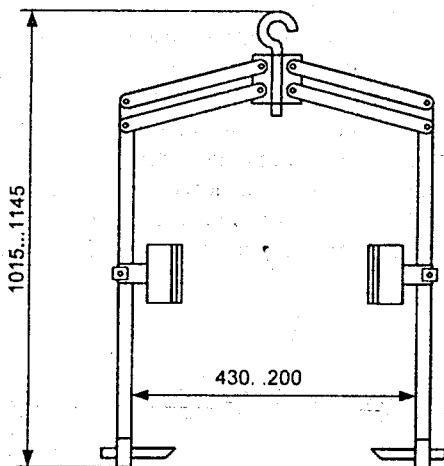


Рисунок 7.3 – Знімач обмоток для трансформаторів I та II габаритів

Після демонтажу обмоток знімають зі стержня нижню ярмову та зрівнювану ізоляцію, електрокартонний циліндр та дерев'яні клини внутрішньої обмотки. Якщо через тривалу роботу та зношування ізоляції обмотки підлягають заміні, то зазвичай замінюють і дерев'яні деталі.

### 7.3 Ремонт обмоток та магнітної системи трансформатора

**Ремонт обмоток трансформатора.** Якщо при сильному натискуванні пальцем ізоляція руйнується, повинно бути вирішено питання про заміну обмоток. В ряді випадків при аварійних пошкодженнях обмоток, які пов'язані з вигоранням проводів та ізоляції в зоні виткового замикання, здійснюють часткове перемотування обмоток. При ремонті з обмоткового проводу видаляють стару ізоляцію, після чого його відпалюють, рихтують та переізолюють.

Для видалення старої ізоляції та відпалювання обмотку розмотують на окремі бухти, які нагрівають в закритій печі при температурі 500 – 600 °С. При цьому ізоляція обгорає і знімаються внутрішні пружні напруженості в

міді – вона стає «м'якішою». Щоб провід не сплутувався при відпалюванні, бухти бандажують проволокою та встановлюють на спеціальні стояки.

При ремонті використовують також спосіб механічного видалення старої ізоляції. В цьому випадку провід протягають через пристрій, в якому ізоляцію розрізають в поздовжньому напрямку, очищають та рихтують. Рихтування здійснюють протягуванням через систему стальних роликів, після чого провід перемотують на барабани, які повинні мати діаметр не менше 400–500 мм для запобігання значним перегинанням проводу.

Кінці проводу з'єднують електропаянням срібним припоем. Місця паяння опилують, зачищають наждачним папером, після чого провід ізолюють на спеціальних паперово-обплітальних верстатах (рис. 7.4). За допомогою натягувального пристрою 4 провід з барабана 1 протягується через рихтувальний пристрій 2, який складається із системи стальних роликів, розташованих вертикально та горизонтально, проходить через обертовий паперообмотувальник 3 і далі намотується на барабан 5 навколо нього.

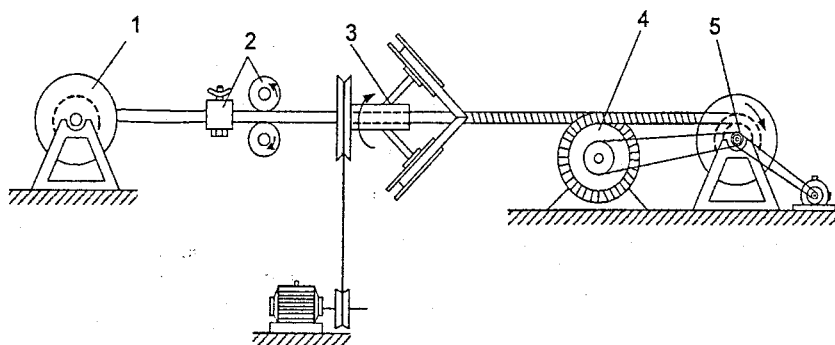


Рисунок 7.4 – Паперово-обплітальний верстат:

1 та 5 – барабан; 2 – рихтувальний пристрій; 3 – паперообмотувальник;  
4 – натягувальний пристрій

Перед частковою або повною перемоткою обмоток попередньо заготовляють необхідні ізоляційні деталі та матеріали (зрівшовані паперово-бакелітові кільця, рейки для каналів між шарами, смужки електрокартону, паперово-бакелітові циліндри, бортики тощо). Технологія виготовлення обмоток повинна відповідати заводській.

Після намотування гвинтові та безперервні обмотки мають збільшений у порівнянні з розрахунковим осьовий розмір, тому їх стягують сталюми плитами і шпильками, висушують та пресують до отримання потрібної висоти. На верхній плиті встановлюють пружини (зазвичай тарільчастого типу), під дією яких обмотки автоматично підпресовуються в міру висушу-

вання та усадки ізоляції. Між плитами та торцями обмоток проти колон прокладок встановлюють дерев'яні підставки.

В стаціонарних заводських умовах обмотки висушують під вакуумом в спеціальній термошафі, а при індивідуальному ремонті - без вакууму, в шафі з електропідігрівом або в закритому металевому баку, який нагрівається індукційною обмоткою після сушіння протягом 10–15 год при 100–105 °С обмотки додатково пресують, рівномірно підтягують гайки на шпильках стягувальних плит до отримання заданого осьового розміру.

Щоб надати обмоткам монолітність та достатню механічну міцність, обмотки трансформаторів I габариту та деякі обмотки II габариту, а також всі шарові обмотки після сушіння та остаточного стягування просочують лаком МЛ-92 методом занурювання та запікають. Для покращення якості просочування перед занурюванням в лак обмотки підігрівають до 50–70 °С. Тривалість просочування залежить від розмірів, конструкції та напруги обмотки і коливається в межах 15–40 хв. Коли надлишок лаку стікає, обмотку для запікання розташовують в термошафі, де витримують при температурі 100–105 °С протягом 10–12 год.

Для забезпечення механічної міцності обмоток, які виготовляються без просочування та запікання, їх витки укладають більш щільно за рахунок підсилення натягування обмоткового проводу та прошивають зовнішніми рейками.

Після сушіння обмотки опресовують спеціальним пресом і оздоблюють: обрізають частини рейок, клинів та кінці ізоляційних стрічок, які виступають, підбивають переходи проводів, які виступають, обрізають і укладають кінці обмоток відповідно до креслення, вирівнюють стовпи прокладок. Після оздоблення та остаточного пресування обмотки стягують сталевими рамами, в яких їх транспортують та зберігають до встановлення на магнітну систему.

**Ремонт магнітної системи трансформатора.** Тільки після демонтажу обмоток стає можливим провести остаточну дефектацію та визначити об'єм ремонтних робіт магнітної системи. Після очищення стержнів та нижнього ярма від забруднень, шламу та кіптяви перевіряють якість та механічну міцність ізоляції пластин магнітної системи, а також ізоляцію ярмових балок та пластин.

Пластини з лаковим покриттям не повинні спікатися, а лакова плівка не повинна відділятися від них при впливі негострих предметів. Магнітну систему вважають здатною для подальшого складання та роботи, якщо на стягувальних шпильках та пластинах сталі немає ознак пошкоджень, а стан їх ізоляції добрий. При виявленні дрібних дефектів здійснюють частковий ремонт без повного розбирання магнітопроводу.

Повний ремонт магнітної системи є трудомістким процесом та включає такі операції:

- встановлення магнітної системи в горизонтальне положення;
- розбирання та розшихтування стержнів і нижнього ярма;

- відбракування та ремонт пластин;
- виготовлення нових пластин;
- складання та випробування магнітної системи.

Розбирання магнітних систем проводять в горизонтальному положенні (для трансформаторів III і IV габаритів на спеціальному металевому кантувачі).

В більшості випадків при ремонті магнітної системи обмежуються переізолюванням пластин верхнього яра. Нижнє переізолювання верхнього яра призводить до збільшення втрат холостого ходу на 5–8 % (при повному перебиранні магнітної системи це збільшення сягає 25%), тому намагаються, по можливості, усунути пошкодження магнітної системи без її розбирання.

Видалення старої ізоляції пластин виконують механічним (на очищувальних верстаках з рухомими стальними щітками або вручну кордовими стрічками) або хімічним (у ванні з 10–15 % розчином їдкого натру при температурі 80–90 °С з наступним промиванням в гарячій воді та сушінням гарячим повітрям) способом. Для зняття з пластин паперової ізоляції її відпаровують в гарячій воді з наступним сушінням або обпалюють. Пластини знову ізолюють на лакувальній установці (рис. 7.5).

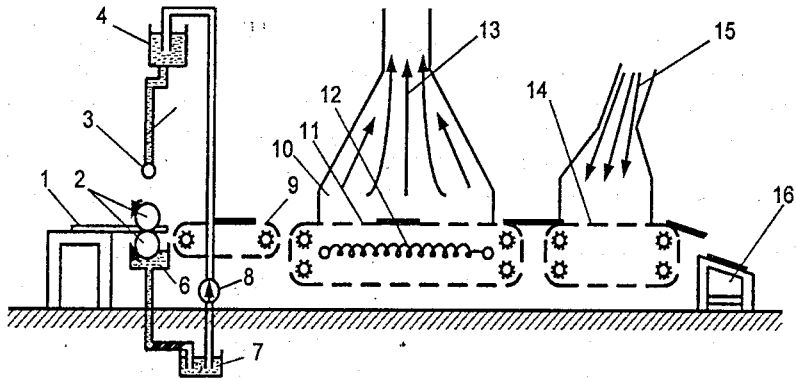


Рисунок 7.5 – Лакувальна установка:

- 1 – пластина; 2 – гумові обертові валики; 3 – трубка з отворами; 4 – витратний бачок з лаком; 5 – трубка; 6 – ванна; 7 – бачок; 8 – насос; 9 – транспортер; 10 – конвеєрна піч; 11 – робоча частина транспортера; 12 – електрична піч; 13 та 15 – труби; 14 – транспортер; 16 – приймальний стіл

Після лакування та запікання пластини повинні мати рівномірний темно-коричневий колір, а їх поверхня повинна бути рівною та гладкою. В процесі лакування періодично перевіряють товщину плівки, електричний опір ізоляції пластин та склад лаку. Магнітну систему трансформаторів се-

редньої потужності шихтують в дві (іноді в три) пластини. В кожному конкретному випадку кількість пластин може відрізнятись та уточнюється при розбиранні. Пластини укладають рівно, без перекошувань, виступів та набігання однієї пластини на іншу. Нерівності та великі зазори в стінках підбивають в процесі шихтування підбійками з фібри.

Для контролю правильності укладання пластин періодично вимірюють відстань по діагоналі між отворами (при стягуванні шпильками). Товщину пакетів вимірюють штангенциркулем, перекошування та вертикальність оправлення перевіряють кутоміром. При ремонті трансформаторів з розбиранням остову старе стягування стержнів сталевими бандажами та наскрізними шпильками замінюють на стягування склобандажами, які встановлюють за допомогою спеціального механізму (рис. 7.6).

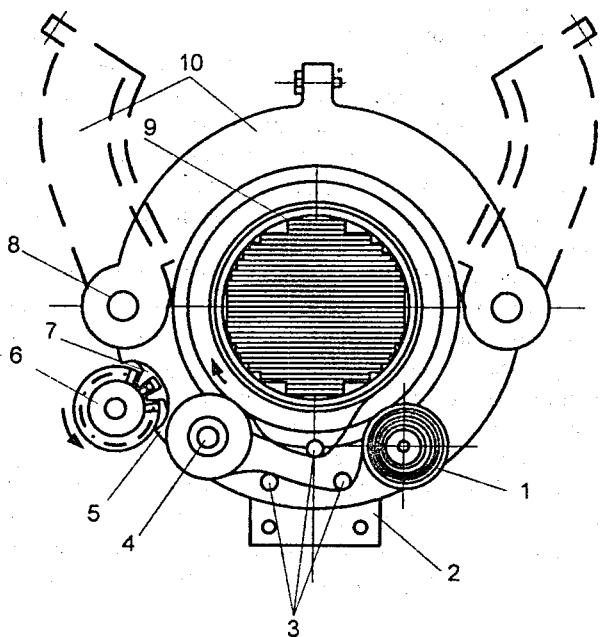


Рисунок 7.6 – Механізм для намотування склобандажів:

1 – бобіна з рулоном склострічки; 2 – плита для кріплення до пресувальної балки; 3 – напрямні ролики; 4 – фрикційна муфта; 5 – сталевна коробчаста обойма; 6 – зубчате колесо на валу двигуна; 7 – планшайба із зубчатим вінцем; 8 – палець; 9 – стержень; 10 – розвідний сегмент

Безшпилькові системи укладають, розбирають та складають за допомогою кантувача. Розпресовування здійснюється зняттям стягувальних зов-

нішніх коробок та півбандажів з ярм, розрубанням та зняттям бандажів зі стержнів. Технологія відновлення пластин аналогічна описаній раніше.

Складання магнітної системи потребує великої уваги та охайності, тому що пластини не фіксуються опрацюванням і якість їх укладання залежить від ретельності виконання робіт. Кожний пакет пластин товщиною 15—20 мм вирівнюють киянкою та перевіряють шаблоном правильність складання. Після укладання всіх пластин в уступи стержнів закладають виготовлені з буку планки та рейки в тому ж порядку, в якому вони знаходились до розбирання, і тимчасово закріплюють їх на стержнях кіперною стрічкою. Потім магнітну систему пресують струбцинами, ланцюговими або тимчасовими стрічковими бандажами. Спочатку пресують стержні, потім ярма. Після опресування по черзі знімають тимчасові пресуючі пристосування та встановлюють постійні бандажі.

Складений остов строплять, підіймають та ставлять у вертикальне положення. Під опорні планки підкладають бруски та встановлюють вертикальні пресуючі шпильки так, як вони були встановлені до розбирання. Остаточно підтягують всі стягувальні шпильки і мегомметром вимірюють опір ізоляції ярмових балок та шпильок відносно магнітної системи. При відсутності дефектів остов передають на випробування. Якщо результати випробувань задовільні, верхнє ярмо розшліфовують і приступають до насаджування обмоток.

*Ремонт та виготовлення головної ізоляції.* При ремонті трансформаторів із заміною обмоток головну ізоляцію, як правило, замінюють на нову. Однак якщо вона має невеликі дефекти, її ремонтують, виготовляючи та замінюючи окремі деталі. Звичайно в трансформаторах I—III габаритів ярмову та зрівнювану ізоляцію виготовляють заново.

Для виготовлення ізоляції з електрокартону використовують різні пристосування та інструменти: верстат або пристосування для вирізання шайб (кругові ножиці); вібраційні, гільйотинні та ручні ножиці; електричний або ручний дріль зі свердлами; слюсарний молоток; щітку для обмазування лаком оклеюваних частин; стіл для розмітки, обмазування деталей лаком та складання ізоляції; прес-форму для опресування і запікання деталей, що клеять.

Складання ярмової ізоляції обмотки трансформатора III габариту показано на рисунку 7.7. Шайбу 1 вирізають з електрокартону товщиною 2—3 мм. Верхні та нижні підкладки 2 виготовляють з набору окремих пластин. Пластини вирізають з листа електрокартону, дотримуючись одного напрямлення різання (вздовж або поперек волокон), тому що спадковість електрокартону уздовж та поперек волокон різна. Якщо склеїти смужки, які нарізано випадково, то після сушіння виникне їх короблення та розшарування.

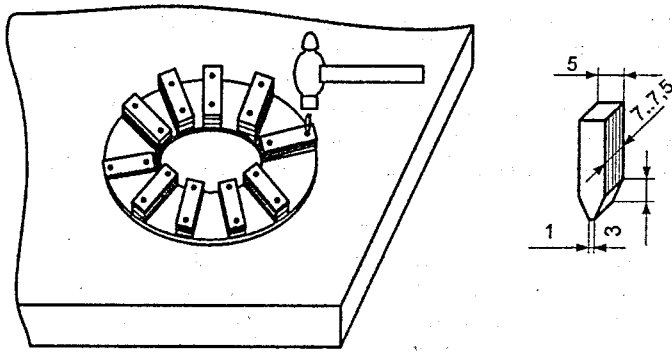


Рисунок 7.7 – Складання ярмової ізоляції обмоток трансформатора III габариту: а) ярмова ізоляція; б) заклепка з електрокартонну;  
1 – шайба; 2 – підкладка

#### 7.4 Установлення ізоляції та обмоток

Після розшихтування магнітопровід готують до укладання ярмової ізоляції та насаджування обмоток. Спочатку стягують вільні верхні листи стержнів брезентними ремнями, стрічками або іншими пристосуваннями. Це необхідно зробити тому, що розпушена верхня частина стержнів не дозволить правильно зорієнтуватись і збільшує небезпеку пошкодження ізоляції обмоток гострими краями пластин стержня. Виявити таке пошкодження після насаджування на стержень практично неможливо.

Для установлення нижньої зрівнюваної та опорної ярмової ізоляції початки і кінці обмоток НН і СН виводять в одну сторону, а обмотки ВН – в іншу. Тому до укладання нижньої ізоляції та установлення обмоток перевіряють відповідність сторін магнітопроводу сторонам НН, СН і ВН, щоб потім можна було з'єднати кріплення виводів з ярмовими балками. При складанні активної частини керуються кресленнями установлення ізоляції та обмоток, які дають уяву про конструкцію елементів головної ізоляції.

Установлення ізоляції та обмоток починають з укладання на полки ярмових балок зрівнюваної ізоляції так, щоб її поверхня була на одному рівні з поверхнею ярма. Потім укладають нижню ярмову опорну ізоляцію зі вставкою для проходу кінців обмоток, яка виймається. При цьому строго слідкують за тим, щоб прокладки ярмової і зрівнюваної ізоляції збігалися одна з одною.

Трансформатори потужністю до 250 кВА мають дещо інше обладнання зрівнюваної та ярмової ізоляції. В кожного стержня на ярмі укладають чотири букові планки по дві з кожної сторони. Планки мають поперечний зріз, який при установленні входить у виступаючий край електрокартонної прокладки, яка ізолює активну сталь від ярмової балки. Планки за висотою

виступають над площиною ярма, тому вони-поєднують в собі як би зрівнювану та ярмову ізоляцію. Для ізолювання обмоток від ярма в проміжку між стержнями поверхню ярма закривають двома електрокартонними щитками. Щитки повинні лежати на одному рівні з планками. Вини служать не тільки ізоляцією, але і є опорною поверхнею для обмоток.

Після устанавлення зрівнюваної та ярмової ізоляцій на ізольовані циліндри стержні по черзі, починаючи з крайньої фази, насаджують обмотки НН. Обмотки трансформаторів потужністю до 630 кВА насаджують вручну. При насаджуванні обмотки НН її вивідні кінці спрямовують в сторону, де буде складена схема відводів НН. Обмотки насаджують щільно, з деяким зусиллям. Якщо обмотка йде дуже туго, перевіряють її розміри та з'ясовують причину цього. Встановивши обмотки НН, на них насаджують обмотки ВН. При цьому слідкують, щоб основні та регульовані кінці розташовувалися на стороні схеми відводів ВН, тобто були спрямовані в сторону, яка вказана на кресленні.

При насаджуванні обмоток також використовують підйомний пристрій, який складається з підйомних лап відповідних розмірів і дво- або трипроменевої траверси. Трипроменеву траверсу використовують, якщо діаметр обмотки перевищує 600 мм.

Після насаджування приступають до радіального розклинювання обмоток, яке полягає в устанавленні рейок в каналах між обмотками ВН та НН та букових стержнів між обмотками НН і стержнями магнітної системи. Розклинювання забезпечує жорстку опору обмоток в радіальному напрямку, виключає можливість її зсуву та руйнування від динамічних зусиль. Після радіального розклинювання встановлюють верхню ярмову ізоляцію, а потім вигинають та ізолюють кінці обмоток НН.

Після розклинювання шихтують верхнє ярмо із середини центрального пакета одночасно з двох сторін, а потім праві та ліві кутові пластини середнього пакета. В такому порядку шихтують усі пакети. При укладанні другого пакета зі сторони НН між пластинами ярма 1 (рис. 7.8) вставляють заземлювальну стрічку 3 на глибину 50 – 60 мм, ізолюючи її від торців пластин електрокар тонною смужкою 2.

Після закінчення шихтування встановлюють верхні ярмові балки з ярмовими ізоляційними прокладками, шпильками скріплюють балки між собою, трішки затягуючи їх, не пресуючи пластини ярма. Біля виходу кінців обмоток НН між полкою ярмової балки та буковими планками встановлюють електрокартонні щитки. Між балкою на стороні НН та прокладкою балки надягають на вертикальні шпильки, які забезпечують необхідне пресування обмоток. Після остаточного затягування гайки розкернують, обмотку з'єднують за заданими схемами, виводи обмоток з'єднують з перемикачем та вводами.

Після складення схеми з'єднання обмоток активна частина підлягає електричним випробуванням (перевірка правильності виконання схеми

з'єднання та якості паяння), а потім здійснюється сушіння активної частини трансформатора.

Ремонт вводів, бака та зовнішніх вузлів трансформатора виконується паралельно з ремонтом активної частини.

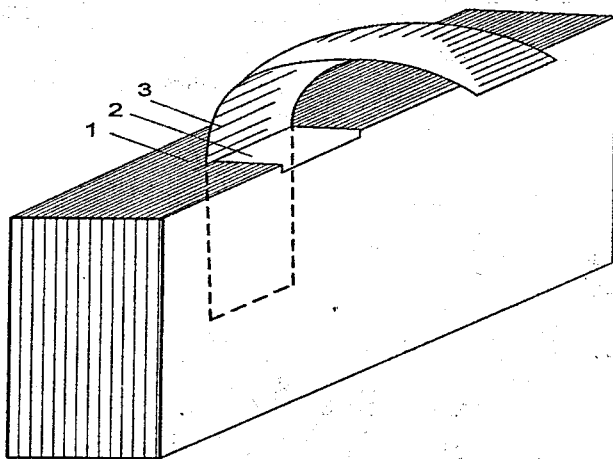


Рисунок 7.8 – Установлення заземлювальної стрічки:  
1 – ярмо; 2 – смужка; 3 – заземлювальна стрічка

Контрольне підсушування трансформаторів проводять при наявності ознак зволоження масла і порушення герметичності, перевищення допустимого часу зберігання без масла або без доливання масла (але не більше одного року); знаходження активної частини в розгерметизованому стані протягом часу, який перевищує допустимий, або незначному погіршенні стану ізоляції, яке виявлено в результаті комплексу випробувань.

### 7.5 Сушіння, чищення та дегазація трансформаторного масла

В процесі тривалої експлуатації характеристики масла погіршуються, тому при ремонті його піддають обробці: видаляють механічні домішки, вологу та розчинні гази шляхом регенерації відновлюють підвищену кислотність масла.

**Очищення масла від вологи та механічних домішок.** Для видалення з масла вологи та механічних домішок використовують центрифуги (рис. 7.9). Барабан, який розташований в герметично закритому корпусі 1, складається з великої кількості конусоподібних тарілок з отворами. Тарілки розташовані паралельно одна над одною на загальному вертикальному валу на відстані, яка дорівнює декільком десятим часткам міліметра. Приз-

начення тарілок – розділити рідину на ряд тонких шарів для збільшення інтенсивності очищення.

Для входу масла в центрифугу є центральний вхідний отвір. Крім того, є три вихідні рукави: верхній – для зливання масла при раптовій зупинці центрифуги або надмірному забрудненню барабана, середній – для виходу очищеного масла і нижній – для зливання видаленої води. Масло подається в центрифугу та викачується з неї двома шестеренними насосами 2. Оскільки найбільш інтенсивне видалення вологи з масла виникає при температурі 50–55 °С, то центрифуга має електричний підігрівач 4.

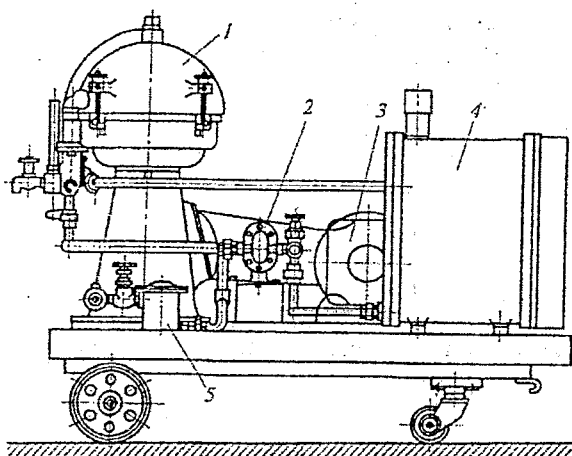


Рисунок 7.9 – Центрифуга для очищення масла:

1 – корпус; 2 – насос; 3 – мотор-редуктор; 4 – підігрівач; 5 – фільтр

Для затримання крупних механічних домішок та запобігання попаданню їх в апарат на вхідному патрубку маслопроводу встановлено фільтр 5 з тонкої металевої сітки. Центрифуга обертається за допомогою мотор-редуктора 3 через ремінну передачу. Продуктивність центрифуги при швидкості барабана 6800 об/хв складає 1500 л/год.

Якщо в маслі багато води, то шляхом відповідної перестановки тарілок центрифугу налагоджують на режим видалення води. Для очищення масла з невеликим вмістом води центрифуга повинна працювати в нормальному режимі, тобто, в режимі видалення води та механічних домішок. Щоб при центрифугуванні зменшити кількість розчиненого в маслі повітря використовують вакуум-центрифуги, в яких масло при очищенні знаходиться під вакуумом.

Другим способом очищення є *фільтрування масла*, при якому воно протискується через середовище, яке має велику кількість дрібних отворів

(в них затримується вода та механічні домішки). Як фільтруючий матеріал використовують спеціальний фільтраційний папір, картон або спеціальну тканину – бельтинг. Фільтрування здійснюється в фільтрі-пресі, який складається з низки чавунних рам, пластин та закладеного між ними фільтрувального паперу. Пластини та рами чергуються між собою. Весь комплект з фільтрувальним папером затиснутий двома масивними плитами та гвинтом (рис. 7.10).

В фільтр-прес масло подається насосом під тиском  $(4 \div 6) \cdot 10^5$  Па. Необхідність підвищення тиску масла в процесі роботи фільтр-преса показує, що фільтрувальний папір засмітився і її необхідно змінити. Для грубого очищення масла до його подавання в фільтр-прес служить спеціальний сітчастий фільтр, який розташовується на вхідному патрубку. Для відбирання проб очищеного масла на вихідному патрубку є кран.

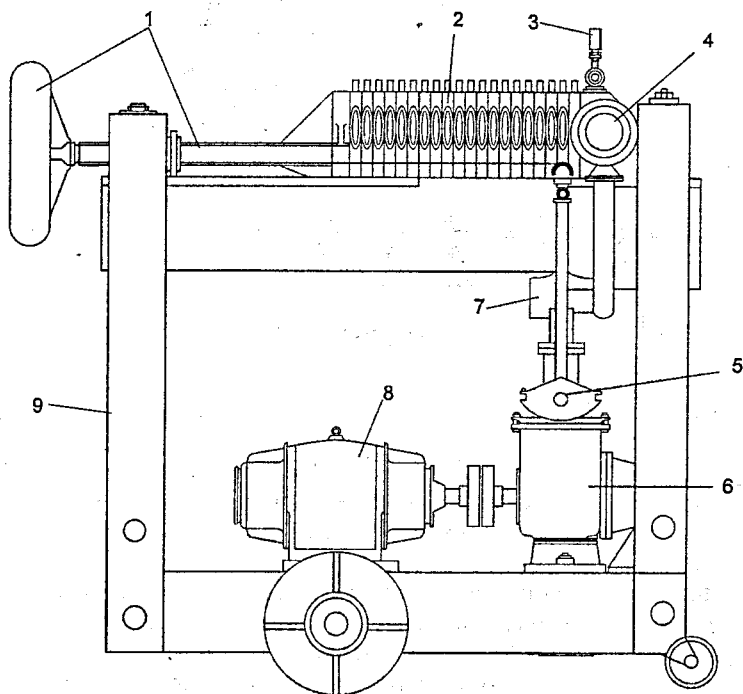


Рисунок 7.10 – Фільтр-прес:

- 1 – штурвал з натискним гвинтом; 2 – набір з рам, пластин та фільтрувального матеріалу; 3 – манометр; 4 – патрубок з фланцем для виходу масла; 5 – патрубок з фланцем для входу масла; 6 – насос; 7 – фільтр грубого очищення; 8 – електродвигун; 9 – станина

**Сушіння масла в цеолітових установках.** Сушіння масла здійснюється шляхом однократного фільтрування масла через шар молекулярних сит, які виконано зі штучних цеолітів. Зазвичай цеолітова установка (рис. 7.11) складається з трьох-чотирьох паралельно працюючих адсорберів 6, які містять по 50 кг цеолітів кожна. Адсорбер являє собою порожній металевий фільтр, повністю заповнений цеолітами. Для збільшення поверхні контакту цеолітів з маслом розмір адсорбера підбирають так, щоб співвідношення висоти гранульованих целітів до його діаметра повинно бути не менше 4÷1. В нижній частині адсорбера є дно з металеві сітки, яке служить опорою для молекулярних сит. Верхня горловина адсорбера закрита знімною металевію сіткою. Масло через нього перекачується насосом.

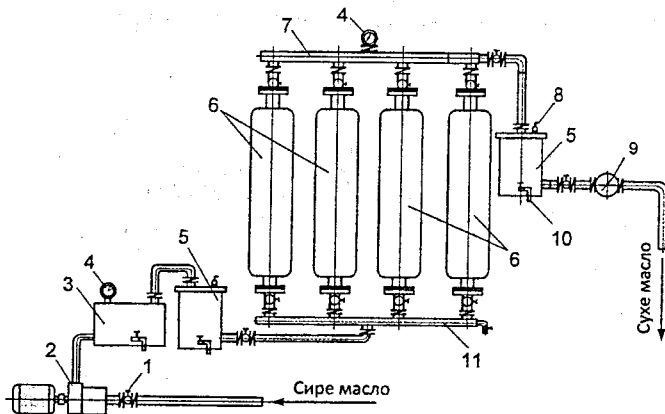


Рисунок 7.11 – Цеолітова установка для сушіння масла:

- 1 – вентиль; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – манометри; 5 – фільтри;
- 6 – адсорбери; 7 – верхній колектор; 8 – кран для спуску води;
- 9 – об'ємний лічильник; 10 – кран для відбору проб та зливання масла;
- 11 – нижній колектор

Для підігріву масла є електронагрівач 3, який являє собою металевий бачок з манометром 4, термосигналізатором, електронагрівальними елементами (зазвичай типу ТЕН-12) та штуцерами для приєднання маслопроводів. Установка має два фільтри 5, один з яких встановлено на вході в адсорбер (служить для очищення масла від механічних домішок), а другий – на виході сухого масла з адсорбера (служить для затримання гранул та крихт цеолітів, якщо виникає пошкодження металевію сітки в верхній горловині адсорбера).

Для сушіння необхідно приблизно 0,1–0,15 % синтетичних цеолітів від маси масла, що оброблюється. За один цикл фільтрування пробивна напруга масла підвищується з 10–12 до 58–60 кВ. Сушіння масла здійснюють

при температурі 20 – 30 °С та швидкості фільтрації 1,1 – 1,3 т/год. Практично на сушіння 50 т масла через установку зі 100 кг цеолітів необхідно біля 48 год. Кислотне число та натрова проба масла після фільтрування залишається без змін.

Цеоліти надто гігроскопічні, тому після закінчення роботи адсорбери повинні залишитися заповненими маслом. Зберігають цеоліти у вологонепроникній тарі. Адсорбційні властивості цеолітів можна багаторазово відновлювати продуванням адсорбера з відпрацьованими гранулами гарячим повітрям температурою 300–400 °С (тривалість продування 4–5 год). Щоб зберегти цеоліти від зволоження, після пропалення їх заливають сухим трансформаторним маслом і щільно закривають кришкою.

*Регенерація кислих масел.* Існує низка хімічних способів глибокої регенерації масел, основним з яких є кислотно-лужно-земельний. При цьому способі очищення масло обробляється сірчаною кислотою, яка ущільнює та зв'яже всі нестійкі з'єднання масла в кислий гудрон. Гудрон видаляють шляхом відстою, а залишки сірчаної кислоти та органічних кислот нейтралізують обробкою масла лугом. Потім масло промивають дистильованою водою, висушують і для повної нейтралізації обробляють вибільною землею. Після остаточного фільтрування отримують відновлене масло.

Для неглибокої регенерації масла в ремонтній практиці використовують силікагель. Перевагою силікагелю є можливість його багаторазового використання шляхом пропалення при температурі 300–500 °С. В нестандартних ремонтних умовах силікагелем зазвичай регенерують слабкоокислені масла, які не потребують глибокого хімічного очищення. Для цього масло багаторазово проганяють через адсорбер – бачок заповнений просушеним силікагелем. Циркуляцію масла, як правило, здійснюють за допомогою насоса центрифуги або фільтра-преса, який підключають до вихідної частини адсорбера. Як і при інших видах очищення, масло при регенерації підігривають.

*Дегазація трансформаторного масла.* Присутність в маслі кисню викликає його окиснення та погіршує діелектричні властивості, які пов'язані з виникненням електричних розрядів та іонізації під впливом електричного поля. Зазвичай при атмосферному тиску масло містить біля 10% повітря (за об'ємом), причому розчинність повітря зростає з підвищенням температури масла. Зауважимо, що в повітрі, яке розчинене в трансформаторному маслі, співвідношення газів, які увійшли в нього, змінюється. В атмосферному повітрі міститься 78% азоту і 21% кисню, а в повітрі, яке розчинене в маслі, – 69,8% азоту і 30,2% кисню. Перед дегазацією масло осушують, щоб вміст вологи не перевищував 0,001% (10 г води на 1 м<sup>3</sup> масла).

Для дегазації та вакуумування використовуються спеціальні дегазаційні установки. Дегазатор, як правило, складається з двох металевих баків, які заповнені кільцями Рашига, які служать для збільшення поверхні розтікання масла. Вакуум в баках створюється вакуумним насосом (зазвичай

типу ВН-6). На кришках баків встановлені розпилювачі, проходячи через які масло рівномірно розподіляється по всьому об'єму баків. Стікаючи тонкими шарами по поверхні кілець, масло дегазується. Процес подовжується, доки залишковий об'ємний вміст газу не буде перевищувати 0,04%. З дегазатора масло поступає в бак трансформатора, який знаходиться під таким же вакуумом, як і дегазатор. При ремонтах використовують як стаціонарні, так і пересувні дегазаційні установки.

При переведенні трансформаторів на азотний або плівковий захист потрібно вакуумування, дегазація та доведення волого вмісту масла до вказаної раніше норми. Трансформатор заповнюється дегазованим маслом до висоти 150–200 мм від кришки. Підживлення азотом виконують в міру його розчинення в маслі до повного насичення масла азотом.

## 7.6 Випробування трансформаторів після капітального ремонту

**Об'єм та норми випробувань.** Після завершення ремонтних робіт трансформатор підлягає випробуванням з метою перевірки якості та відсутності дефектів, а також перевірки характеристик трансформатора на відповідність вимогам стандартів, технічних умов або інших регламентних документів. Програма випробувань після капітального ремонту з розбиранням активної частини трансформатора містить 19 пунктів, в тому числі [2, 3]:

- визначення умов увімкнення;
- вимірювання опору ізоляції ( $R_{60'}$  та  $R_{60'}/R_{15'}$ );
- вимірювання тангенса кута діелектричних втрат;
- визначення ємнісних характеристик ( $\Delta C/C, C_2/C_{50}$ );
- випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти;
- вимірювання опору обмоток постійному струму;
- перевірка коефіцієнта трансформації та групи з'єднань обмоток;
- вимірювання струму та втрат холостого ходу;
- перевірка роботи перемикального пристрою;
- перевірка роботи пристрою перемикання відгалужень;
- випробування бака на міцність;
- перевірка пристроїв охолодження та стану індикаторного силікагеля;
- випробування пристроїв охолодження та стану індикаторного силікагеля;
- випробування трансформаторного масла з трансформатора;
- випробування увімкнення поштовхом на номінальну напругу;
- випробування вводити та вбудованих трансформаторів струму.

При вимірюванні електричного опору обмоток постійного струму різних опорів на однойменних відгалуженнях різних фаз не повинна перевищувати 2%. Перевірка роботи перемикального пристрою приводиться згідно з інструкцією заводу-виробника.

**Трансформаторне масло** підлягає випробуванню на електричну міцність (на пробій), на діелектричні втрати ( $\text{tg}\delta$ ) та на хімічний аналіз. Для експлуатаційного масла  $\text{tg}\delta$  повинен бути не більше 7% при 70 °С (для свіжого сухого масла  $\text{tg}\delta \leq 1,5 \div 2,5\%$ ). Хімічний аналіз масла полягає у визначенні вмісту механічних домішок, кислотного числа та вмісту воднорозчинних кислот та лугів.

Температура спалаху парів масла може знижуватись не більше ніж на 5 °С від початкової (135 °С). Масло трансформаторів з азотним та плівковим захистом перевіряють на волого- та газовміст, які повинні відповідати заводським нормам.

**Випробування електричної міцності ізоляції** включає [3, 5]:

- визначення пробивної напруги масла або іншого рідкого діелектрика, яким заповнено трансформатор;

- випробування ізоляції обмоток напругою 35 кВ та менше разом з вводами підвищеною напругою промислової частоти, яка прикладена від зовнішнього джерела (протягом 1 хв);

- випробування ізоляції доступних для випробування натискних шпильок, пресувальних кілець та ярмових балок напругою 1 кВ промислової частоти (протягом 1 хв).

Випробні напруги перевищують номінальні та залежать від умов експлуатації. Трансформатори, які призначені для експлуатації в електроустановках, що підпадають під вплив грозових перенапруг при звичайних заходах грозозахисту, випробовують за нормами для нормальної ізоляції, а трансформатори, які призначені для експлуатації в електроустановках, що не підпадають під вплив грозових перенапруг або при спеціальних заходах грозозахисту – за нормами для полегшеної ізоляції. Ізоляція трансформатора до проведення випробувань піддається обробці відповідно до встановленого технологічного процесу.

При випробуванні ізоляції напругою промислової частоти, яка прикладена від зовнішнього джерела, перевіряється електрична міцність головної ізоляції (кожної обмотки відносно інших обмоток, включаючи відводи та вводи, а також відносно бака і інших заземлених частин трансформатора).

Ізоляцію кожної обмотки випробовують по чергово. Випробування проводять за схемою, яка наведена на рисунку 7.12. При цьому випробна напруга прикладається між випробуваною обмоткою, яка замкнена наколотко, і заземленим баком. Решту вводів інших обмоток з'єднують між собою та заземляють сумісно з баком та магнітною системою. Напругу до первинної обмотки підвищувального трансформатора підводять від генератора змінного струму з регульовальним збудженням або від регульовального автотрансформатора. Випробну напругу плавно піднімають та витримують протягом 1 хв. Зростання сили струму та зниження напруги, яка фіксується приладами, зазвичай вказує на наявність дефекту в ізоляції

трансформатора, який випробовується. Пошкодження в трансформаторі також виявляється у вигляді потріскування та розрядів.

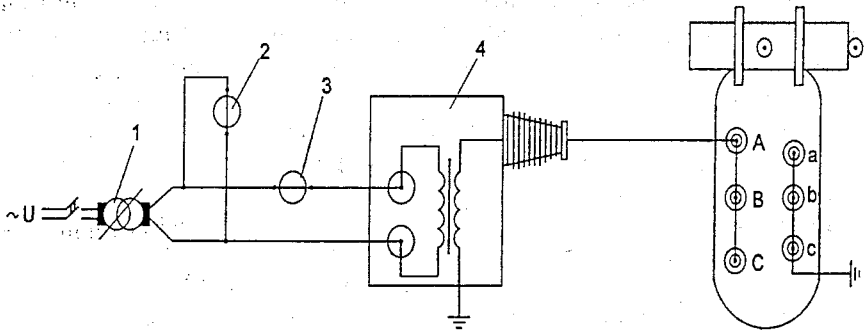


Рисунок 7.12 – Випробування ізоляції обмоток ВН прикладеною напругою:  
 1 – регулювальний трансформатор; 2 – вольтметр; 3 – амперметр;  
 4 – випробуваний трансформатор

Трансформатор вважають таким, що витримав випробування, якщо в процесі випробування не спостерігалось повного розряду (за звуком), розряду на захисному кульовому проміжку, виділення газу та диму або зміни показань приладів. Якщо при випробуванні відмічені розряди в баку, які супроводжуються зміною режиму в випробуваній установці або появу диму, активна частина підлягає огляду, а при необхідності – розбиранню для з'ясування та усунення причин розрядів або пробую.

Поздовжня ізоляція обмотки (ізоляція між витками, котушками, шарами, фазами) випробовується підвищеною напругою, яка індукуються в самому трансформаторі. Випробування проводять шляхом прикладення до одної з обмоток подвійної номінальної напруги цієї обмотки при підвищеній частоті (але не більше 400 Гц). Підвищення частоти необхідно для запобігання надмірному збільшенню індукції та намагнічувального струму. Випробування проводять за схемою досліду холостого ходу напругою частоти не менше  $2f_{\text{ном}}$  та тривалістю 1 хв (при більш високих частотах тривалість випробування зменшується, але не повинна бути менше 15 с).

Основним дефектом, який виявляється при такому випробуванні, є виткове замикання між витками або шарами обмотки, а також між відводами. Якщо є ознаки дефекту, то важливо до розбирання трансформатора вимірюваннями струму і напруги по фазах встановити дефектну фазу. Потім ця фаза підлягає ретельному огляду. Дефектне місце обмотки можна визначити індукційним методом або вимірюванням електричного опору.

Індукційний метод знаходження короткозамкненого витка оснований на наявності електромагнітного поля навколо короткозамкненого витка, яке створене в ньому індуктивним струмом короткого замикання. Поле на-

вколо інших витків відсутнє. Наявність та положення короткозамкненого витка виявляють особою котушкою, яка називається шукачем, до якої підключено чутливий прилад. Вимірювальний апарат складається з шукача та покажчика. Шукач являє багатовиткову котушку, яка насаджена на магнітопровід, який складається з декількох пластин електротехнічної сталі, та приєднаного до неї приладу-покажчика (рис. 7.13).

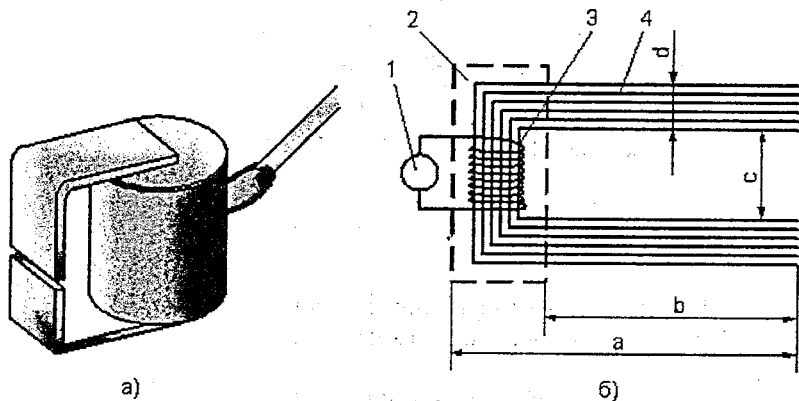


Рисунок 7.13 – Пристрій для виявлення короткозамкненого витка:  
 а) загальний вигляд; б) принципова схема; 1 – прилад-покажчик;  
 2 – захисний кожух; 3 – котушка; 4 – осереддя

Напруга в обмотці, яка перевіряється, індукуюється «живителем», який виконується аналогічно наведеному на рисунку 7.13 шукачу, або являє собою довгий стержень з намотаними по усій довжині витками. Обмотка «живителя» підключається до мережі напругою 36, 127 або 220 В. Якщо обмотка, яка перевіряється, насаджена на стержень магнітної системи, збудження здійснюється звичайним шляхом (при подаванні невеликої напруги, безпечної для персоналу). Переміщуючи шукач спочатку уздовж обмотки, а потім в радіальному напрямленні, встановлюють місце замикання за магнітним покажчиком приладу.

Оцінювання стану ізоляції здійснюється на основі вказаного комплексу випробувань. Допустимі значення ізоляційних характеристик для трансформаторів класів напруги до 35 кВ та номінальної потужності до 10 МВА наведені в додатку Б.

Вимірювання опору ізоляції обмоток здійснюється при температурі не нижче 10 °С мегомметром класу 1000 В у трансформаторах класу напруги до 35 кВ та потужністю до 16 МВА та класу 2500 В з діапазоном вимірювання 0÷10000 МОм – у всіх інших випадках. При цьому за температуру ізоляції в масляних трансформаторах беруть температуру масла у верхніх шарах, в сухих – температуру навколишнього повітря.

Вимірювання характеристик ізоляції для двообмоткових трансформаторів проводять за такою схемою: перше вимірювання між обмотками НН та баком при заземленій обмотці ВН (скорочений запис вимірювання НН-бак, ВН); друге – ВН-бак, НН; третє – ВН+НН-бак (рис. 7.14).

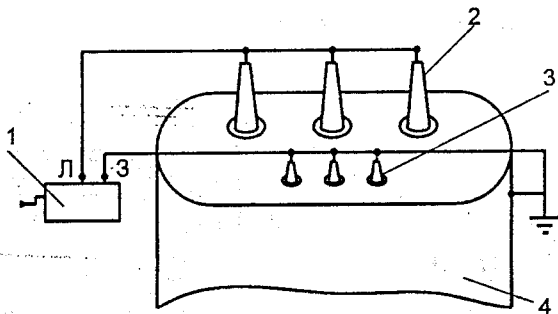


Рисунок 7.14 – Вимірювання опору ізоляції обмоток:  
1 – мегомметр; 2 – вводи ВН; 3 – вводи НН; 4 – бак трансформатора

### Контрольні запитання

1. Яка документація повинна вестись при ремонті трансформатора?
2. За якими критеріями здійснюється оцінювання стану ізоляції обмоток та вводів?
3. Яка послідовність робіт при демонтажі активної частини трансформатора?
4. Які основні роботи виконують в процесі ремонту обмоток?
5. Як оцінюється стан магнітної системи?
6. Які операції включає повний ремонт магнітної системи?
7. Які параметри контролюються в процесі випробувань, які виконуються після ремонту трансформатора?

### ВИСНОВКИ

В навчальному посібнику розглядаються питання ремонту електричних машин та трансформаторів, які включають в себе організацію та структуру електроремонтного виробництва, вміст ремонту, розбирання та дефектацію електричних машин, ремонт їх магнітопроводів і механічних деталей, ремонт обмоток та складання електричних машин після ремонту, капітальні ремонти трансформаторів без розбирання та з розбиранням активної частини.

Таким чином, навчальний посібник може бути корисним студентам електротехнічних спеціальностей.

## Список літератури

1. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин / Гемке Р. Г. — Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 336 с.
2. Котеленец Н. Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин / Котеленец Н. Ф., Акимова Н. А., Антонов М. В. — М. : Изд. Центр «Академия», 2004. — 384 с.
3. Цирель Я. А. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях / Я. А. Цирель, В. С. Поляков. — Л. : Энергоатомиздат, 1985. — 264 с.
4. СПРАВОЧНИК по монтажу силового и вспомогательного электрооборудования на электростанциях и подстанциях / Под ред. Н. А. Иванова, Н. Г. Этуса. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 240 с.
5. Грудинский П. Г. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / Грудинский П. Г., Мандрыкин С. А., Улицкий М. С. — М. : Энергия, 1974. — 576 с.
6. Иноземцев Е. К. Ремонт генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей / Иноземцев Е. К. — М. : Высш. шк., 1986. — 215 с.
7. Иноземцев Е. К. Ремонт турбогенераторов ТГВ-200 и ТГВ-300 / Иноземцев Е. К. — М. : Энергия, 1977. — 120 с.
8. Гольдин А. С. Устранение вибраций турбоагрегатов на тепловых электростанциях / Гольдин А. С. — М. : Энергия, 1980. — 96 с.
9. Якобсон М. А. Испытания и проверки при наладке электрооборудования / Якобсон М. А. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 120 с.
10. СПРАВОЧНИК по ремонту турбогенераторов / Под ред. П. И. Устинова. — М. : Энергия, 1978. — 480 с.
11. Кожевников Н. И. Устройство и эксплуатация оборудования гидроэлектростанций / Кожевников Н. И. — М. : Высш. шк., 1985. — 199 с.

## Додаток А

### Періодичність ремонту

Таблиця А.1 – Періодичність поточного та капітального ремонту трансформаторів

Категорія трансформатора	Поточний ремонт з випробуваннями			Капітальний ремонт з випробуваннями	
	трансформатор без РПН	трансформатор з РПН	система охолодження Д, ДЦ, Ц	перший після увімкнення	наступні
Головні трансформатори електростанцій та підстанцій	2 роки	1 рік	1 рік	12* років	в міру необхідності в залежності від результатів випробування та стану трансформатора
Трансформатори власних потреб електростанцій: – основні – резервні	2 роки 2 роки	1 рік 1 рік	1 рік 1 рік	12** років в міру необхідності	теж
Трансформатори в зоні забруднення	за місцевими інструкціями	1 рік	1 рік	в міру необхідності	теж
Інші трансформатори	4 роки	1 рік	1 рік	в міру необхідності	теж

\* – позачерговий ремонт пристрою РПН проводиться після певного числа операцій (за вказівкою заводу-виробника);

\*\* – для трансформаторів напругою 110 кВ і вище та потужністю 80 МВА і більше;  
для інших – в міру необхідності.

Таблиця А.2 – Тривалість ремонтного циклу та міжремонтного періоду

Вид електрообладнання	$T_{\text{табл}}$ , років	$t_{\text{табл}}$ , місяців
Електричні машини, що працюють: – в сухих приміщеннях ( $K_{\text{п}} = 0,25$ )	12	12
– в гарячих, гальванічних та хімічних цехах ( $K_{\text{п}} = 0,45$ )	4	6
– в забруднених цехах – деревообробки, сухого шліфування тощо ( $K_{\text{п}} = 0,25$ )	6	8
– в умовах тривалих циклів безперервної роботи з великим навантаженням – приводи насосів, компресорів тощо ( $K_{\text{п}} = 0,75$ )	9	9
Силові трансформатори та автотрансформатори	14	24
Електрозварювальні трансформатори	6	12
Електропічні трансформатори	6	6

## Додаток Б

### Норми випробувань електричних машин після ремонту

Таблиця Б.1 – Всипні обмотки статора

Елемент двигуна змінного струму, що випробується з $U \leq 0,66$ кВ	Випробна напруга, кВ, в залежності від потужності $P_H$ , кВт	
	0,2÷10	10,1÷1000
Обмотки після укладання в пази до паяння міжкотушкових з'єднань	2,5	3,0
Обмотки після паяння та ізолювання міжкотушкових з'єднань	2,3	2,7
Обмотки після просочування та запресовування обмотаного осердя	2,2	2,5
Головна ізоляція обмотки складеного двигуна змінного струму	$2U_H + 1,0$ , але не менше 1,5	

Таблиця Б.2 – Обмотки статора з прямокутного проводу

Елемент обмотки двигунів змінного струму, що випробується	Випробна напруга для електродвигунів на номінальну напругу, кВ							
	до 1000 кВт					понад 1000 кВт		
	до 0,56	2	3	6	10	3	6	10
Окрема котушка (стержень) перед укладанням	4,5	11,0	13,5	21,1	31,5	13,5	23,5	34,0
Обмотка після укладання в пази до паяння міжкотушкових з'єднань	3,5	9,0	11,5	18,5	29,0	11,5	20,5	30,0
Обмотка після паяння та ізолювання з'єднань	3,0	6,5	9,0	15,8	25,0	9,0	18,5	27,0
Головна ізоляція обмотки складеної машини	$2U_H + 1,0$ , але $не < 1,5$	5,0	7,0	13,0	21,0	7,0	15,0	23,0

Таблиця Б.3 – Обмотки ротора

Елемент ротора асинхронних двигунів, що випробується	Випробна напруга, кВ
1. Повна заміна обмотки	
Окремі стержні до укладання в пази	$2U_{\text{рот}}^* + 3,0$
Стержні після укладання, але до з'єднання	$2U_{\text{рот}} + 2,0$
Обмотка після з'єднання, паяння та бандажування	$2U_{\text{рот}} + 1,0$
Контактні кільця до з'єднання з обмоткою	$2U_{\text{рот}} + 2,2$
2. Часткова заміна обмотки	
Частина обмотки, яка залишилася після видалення котушок що замінюються, секцій або стержнів	$2U_{\text{рот}}$ (але не менше 1,2 кВ)
Всі обмотки після приєднання нових котушок, секцій або стержнів	$1,7U_{\text{рот}}$ (але не менше 1,0 кВ)

$2U_{\text{рот}}^*$  – напруга на кільцях нерухомого ротора з розімкненою обмоткою при номінальній напрузі на статорі.

Таблиця Б.4 – Імпульсна випробна напруга виткової ізоляції обмоток статора двигунів змінного струму

Тип ізоляції витків	Амплітуда напруги, В/виток	
	до укладання секцій в пази	після укладання та бандажування
1	2	3
Провід ПБО	210	180
Проводи ПБД, ПДА, ПСД	420	360
Провід ПБД з одношаровою ізоляцією з паперової стрічки	700	600
Проводи ПБД та ПДА з ізоляцією шаром мікастрічки через виток	700	600
Також, з прокладенням міканіта в пазовій частині між витками	1000	850
Провід з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм півнапустка	1100	950
Провід ПБД з одношаровою ізоляцією шовкової лакотканиною товщиною 0,1 мм півнапустка	1400	1200
Проводи ПБД та ПДА з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм півнапустка або 1/3 напустка	1400	1200

Продовження таблиці Б.4

1	2	3
Провід ПБД та ПДА з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм півнапустка та зверху шаром бавовняно-паперової стрічки впритул	2100	1800
Провід ПДА, який ізольовано двома шарами мікастрічки товщиною 0,13 мм півнапустка	2800	2400

Таблиця Б.5 – Допустимі значення повітряного зазору

Номінальний діаметр вала, мм	Зазор, мкм, при частоті обертання, об/хв		
	до 1000	1000 ÷ 1500	більше 1500
18 ÷ 30	40 ÷ 93	60 ÷ 130	140 ÷ 280
31 ÷ 50	50 ÷ 112	75 ÷ 160	170 ÷ 340
51 ÷ 80	65 ÷ 135	95 ÷ 195	200 ÷ 400
81 ÷ 120	80 ÷ 160	120 ÷ 235	230 ÷ 460
121 ÷ 180	100 ÷ 195	150 ÷ 285	260 ÷ 530
181 ÷ 260	120 ÷ 225	180 ÷ 300	300 ÷ 600
261 ÷ 360	140 ÷ 250	210 ÷ 380	340 ÷ 680
361 ÷ 600	170 ÷ 305	250 ÷ 440	380 ÷ 760

Таблиця Б.6 – Випробна напруга промислової частоти для ізоляції машин постійного струму потужністю більше 3 кВт

Елемент, що випробується	Випробна напруга, кВ
Обмотка машин постійного струму: – на номінальну напругу до 100 В – на номінальну напругу більше 100 В та потужністю до 1000 кВт – на номінальну напругу більше 100 В та потужністю більше 1000 кВт	$1,6U_H + 0,8$ $1,6U_H + 0,8$ (але не менше 1,2) $1,6U_H + 0,8$
Обмотки збудників синхронних генераторів	$8U_H$ (але не менше 1,2 та не більше 2,8)
Обмотки збудників синхронних двигунів та конденсаторів	$8U_H$ (але не менше 1,2)
Бандаж якоря	1,0
Реостати та пускорегулювальні резистори (допускається випробування сумісно з ізоляцією кіл)	1,0

*Навчальне видання*

**Лагутін Валерій Михайлович  
Лесько Владислав Олександрович  
Тептя Віра Володимирівна**

## **ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ Ч. II. РЕМОНТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА ТРАНСФОРМАТОРІВ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна  
Коректор З. Поліщук  
Оригінал-макет підготовлено В. Тептя

Підписано до друку 16.02.2015 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,3.  
Наклад 75 пр. Зам. № 2015-020.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.