

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет "Транспортна інженерія"

Кафедра "Локомотиви"

"ДО ЗАХИСТУ"

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

" 16 " 01 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: "УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАВОДСЬКОГО РЕМОНТУ ТА
ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТЕПЛОВОЗІВ"

за освітньою програмою: "Локомотиви та локомотивне господарство"
зі спеціальності 273 "Залізничний транспорт"
галузі знань 27 "Транспорт"

Виконав: студент групи ЛГ2221

_____ Боднар Дмитро БАНИКІН
Керівник _____ Сердюк Володимир СЕРДЮК
Нормоконтролер _____ Колодій Людмила КОЛОДІЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ Боднар

Дніпро, 2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”
Department “*Locomotives*”

Explanatory Note
to Master’s Thesis

master

on the topic: “IMPROVEMENT OF FACTORY REPAIR AND TESTING OF
ELECTRIC TRACTION MACHINES OF THERMAL LOCOMOTIVES”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
Branch of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG2221*:

Dmytro BANIKIN

Scientific Supervisor: Volodymyr SERDYUK

Normative controller: Lyudmila KOLODII

Dnipro, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕМОНТУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВОЗІВ	9
1.1 Загальні характеристики тягових генераторів тепловозів	9
1.2 Загальні характеристики тягових електродвигунів тепловозів	15
1.3 Технологія ремонту електричних машин.....	19
1.4 Характеристика технологічного обладнання по ремонту тягових машин тепловозів	23
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСОЧЕННЯ ТА СУШІННЯ РОТОРІВ ТА СТАТОРІВ ТЯГОВИХ МАШИН.....	36
2.1 Технологічні вказівки та нормативні вимоги до існуючого методу просочення якорів.....	36
2.2 Установка для ультразвукового просочення якорів ТЕД.....	38
2.3 Піч електрична калориферна з самохідним візком	43
2.4 Ванна для просочування статора ГС-501	46
2.5 Експериментальні дослідження для визначення ефективності ультразвукового методу просочення	47
3 УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМ ТА МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	52
3.1 Удосконалення випробування тягових генераторів	53
3.2 Удосконалення випробувань тягових електродвигунів	70
3.3 Схеми взаємного навантаження тягових електричних машин послідовного збудження.....	87

					<i>0032.190069.000.02MP.ПЗ</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення заводського ре- монту та випробування тяго- вих електричних машин тепло-		
Розробив	Банникін						
Керівник	Сердюк						
Н. Контр.	Колодій						
Зав. Каф.	Боднар						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					H	5	113
					<i>УДУНТ, гр. ЛГ2121</i>		

4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	97
4.1 Призначення, будова та принцип роботи автоматизованої системи вимірювань	97
4.2 Пропозиції щодо вдосконалення системи автоматизованого вимірювання параметрів випробуваних ТЕД.....	107
ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112

ВСТУП

Підтримка локомотивів у постійно справному стані забезпечується відповідним доглядом за ними з боку локомотивних бригад і ефективною системою технічного обслуговування і ремонту. Вона містить у собі структуру ремонтного циклу, основні положення і правила ремонту, локомотиворемонтну базу і висококваліфіковані кадри ремонтників. Ці основні складові єдиної системи (організаційна структура, виробнича база і кваліфіковані працівники локомотивних депо і ремонтних заводів) забезпечують своєчасну постановку локомотивів на технічні обслуговування і ремонти, якісне виконання огляду, очищення і ремонту в повному обсязі і у встановлений термін і своєчасну видачу під поїзди справних локомотивів у кількості, необхідній для виконання заданого обсягу перевезень. Правильна організація і удосконалена технологія ремонту локомотивів дозволяють утримувати їх у справному стані при мінімальних трудових і матеріальних витратах. Велике значення при цьому має наявність ремонтної бази і її оснащеність. Але, на багатьох ремонтних базах, існуючий ремонт не відповідає повному обсягу КР-1, що підвищує ймовірність виникнення відмовлень під час експлуатації та призведе до наступного заводського ремонту. Тому проводять модернізацію вже існуючих станків, пристроїв для ремонту тепловозів, стендів для випробувань, впроваджують нове технологічне обладнання.

Головною метою при організації будь-якого підприємства є отримання максимального прибутку в результаті його діяльності. В умовах жорсткої конкурентної боротьби між перевізниками підняттям цін на перевезення з метою підвищення їх рентабельності веде до втрати замовників, а отже, до подальшого зниження рентабельності. Тому єдиним шляхом підвищення прибутку є зниження витрат на експлуатацію тягового рухомого складу.

Основними статтями витрат при експлуатації тягового рухомого складу є витрати на енергоносії, технічне обслуговування і ремонт, оновлення рухомого складу. Кон'юнктура ринку енергоносіїв не дозволяє прийняти міри по зниженню цін на паливо, навіть використовуючи державні (адміністративні) методи регулювання. Придбання нового рухомого складу при існуючій структурі витрат і доходів

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

неможлива без капіталовкладень з боку інвесторів. Тому єдиним способом підтримки працездатності рухомого складу є ремонт і поступова модернізація.

На всіх видах тягового рухомого складу - електровозах, тепловозах, електро- та дизель-поїздах, поїздах метрополітену та іншому міському рейковому і безрейковому електротранспорті застосовуються електричні машини, що мають різне функціональне призначення. Усі ці електричні машини, якщо їх потужність 300 Вт і більше, називаються тяговими.

Тяговий генератор призначені для перетворення механічної енергії дизеля тепловоза в електричну, і живлення нею тягових електродвигунів безпосередньо або через випрямну установку.

Тяговий двигун призначений для перетворення електричної енергії, одержуваної з контактної мережі або дизель-генератора, в механічну, передану з вала двигуна на колісну пару, для приведення в рух транспортного засобу, зокрема електровозів, тепловозів, дизель-поїздів.

Метою магістерської роботи є удосконалення заводського ремонту та випробування тягових електричних машин тепловозів.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕМОНТУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

1.1 Загальні характеристики тягових генераторів тепловозів

Тягові генератори призначені для перетворення механічної енергії дизеля в електричну, котра використовується для живлення тягових електродвигунів тепловозів. Тягові генератори бувають змінного й постійного струму. У короточасних режимах тягові генератори постійного струму, що мають спеціальну пускову обмотку збудження, використовуються в якості електродвигунів для запуску дизеля з живленням їх від акумуляторної батареї.

Тяговий генератор ГС-501А змінного струму призначений для експлуатації на тепловозах з електричною передачею змінно-постійного струму й служить для перетворення механічної енергії дизеля в електричну. Вироблюваний генератором трифазний змінний струм частотою 35–100 Гц надходить у випрямну установку, а з неї до тягових електродвигунів постійного струму.

Генератор (рис.1.1) являє собою синхронну електричну машину захищеного виконання з явно вираженими 12 полюсами на роторі, незалежним збудженням і примусовою вентиляцією. Напрямок обертання генератора, якщо дивитися з боку контактних кілець, по годинній стрілці.

Генератор складається з нерухомої частини – статора 9, у пазах якого розташовуються дві трифазні обмотки, і обертова частина – ротора 7 з полюсами, на яких установлені котушки збудження, що живлять постійним струмом через кільця й щітки.

Статор має зварений корпус, виготовлений зі сталевих листів, яким за допомогою вальцювання надається циліндрична форма. До корпусу статора паралельно його осі із двох сторін приварені опорні лабети для установки генератора на піддизельну раму.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

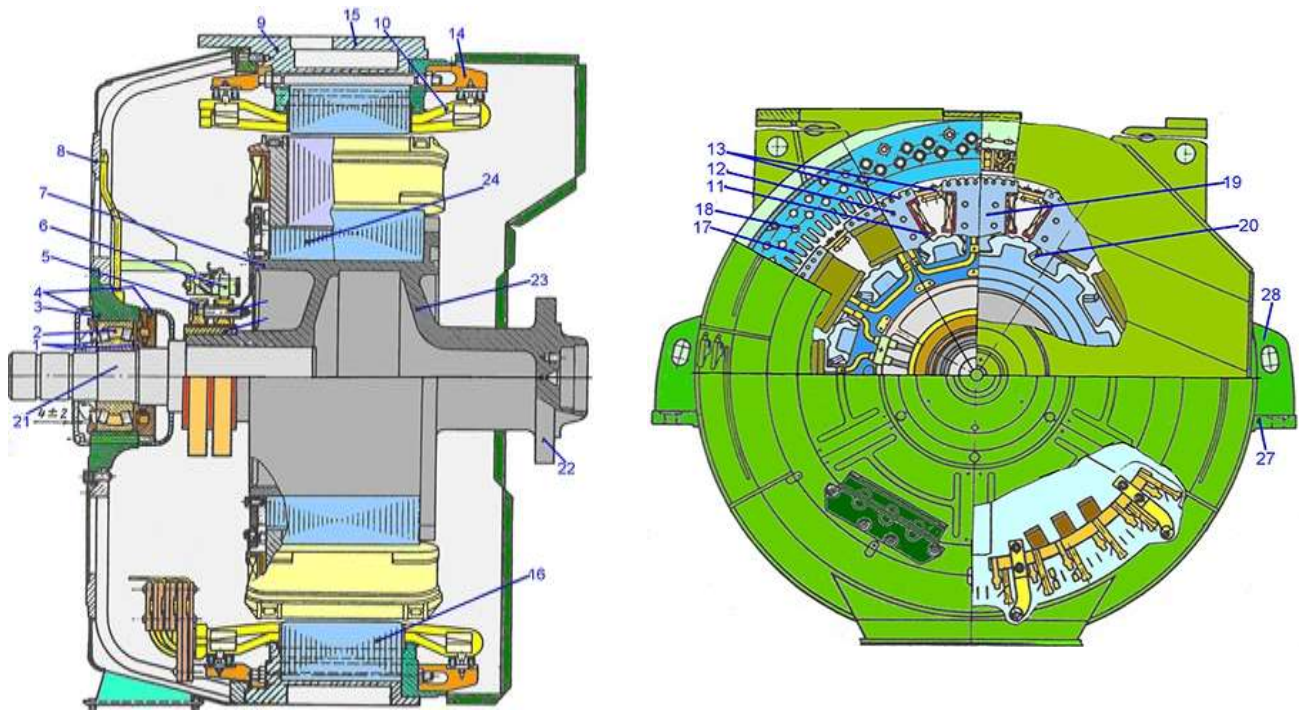


Рисунок 1.1 – Поздовжній і поперечний розрізи тягового синхронного генератора ГС-501А:

1 – дистанційні кільця підшипникового вузла; 2 – сферичний роликовий підшипник; 3 – маточина підшипника; 4 – кришка підшипника; 5 – контактні кільця; 6 – щіткотримач із щіткою; 7 – ротор; 8 – підшипниковий щит; 9 – статор; 10 – обмотка статора; 11 – котушка полюса ротора; 12 – полюс ротора; 13 – демпферна обмотка; 14 – обмоткотримач; 15 – корпус статора; 16 – сердечник статора; 17 – паз сердечника статора; 18 – вентиляційний канал; 19 – сердечник полюса ротора; 20 – клин; 21 – вал ротора; 22 – фланець ротора; 23 – корпус ротора; 24 – сердечник індуктора; 27 – опорна лапа; 28 – ребра жорсткості

Перпендикулярно лабетам для підвищення їхньої твердості до корпусу статора приварені сталеві ребра з отворами, призначені для підйому й транспортування генератора. У верхній частині корпусу є кронштейни, що служать опорами для установки на генераторі синхронного збудника й стартера-генератора.

Статор виконаний зі штампованих листів високолегованої електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. В листах є отвори, що утворюють аксіальні вентиляційні канали. У вистелених плівкосклотканиною пазах статора покладена хвильова

						0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

двошарова обмотка 10, котушки якої ізольовані від корпуса поліамідними й активованої фторопластової плівками.

Для зменшення пульсації випрямленої напруги обмотка виконана за схемою двох незалежних зірок (із двома паралельними галузями в кожній), зрушених одна стосовно іншої на 30 електричних градусів (рис.1.2). Секція обмотки прямокутного перетину, що відповідає формі паза сердечника, складається з дев'яти покладених один на одного широкою стороною мідних провідників. Лобові частини обмотки кріпляться до корпуса статора за допомогою пластмасових обмоткотримачів із запресованими в них шпильками.

Основні технічні дані тягового генератора ГС-501А наведені в таблиці 1.1.

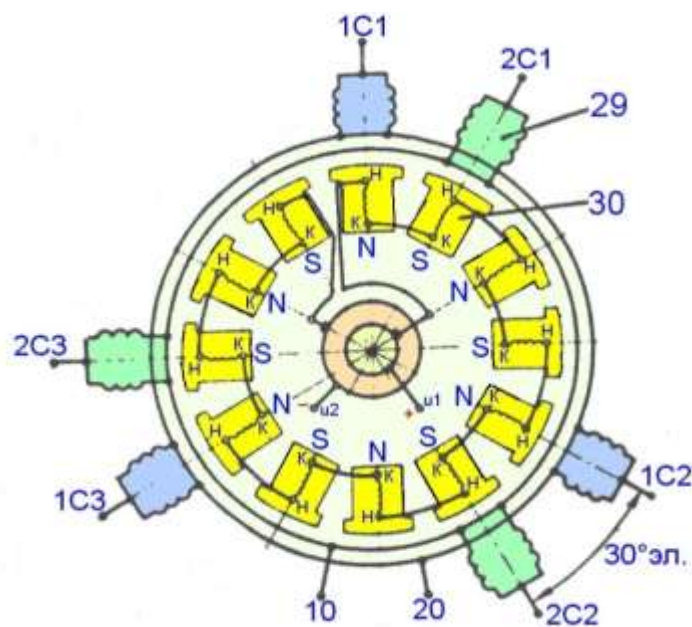


Рисунок 1.2 - Схема з'єднання обмоток генератора ГС-501А

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані тягового генератора ГС-501А

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Найменування основного параметра	Одиниці виміру	Величина
1	2	3
Активна потужність	кВт	2190
Лінійна напруга	В	290/535
Діюче значення лінійного струму	А	2x2350/2x1330
Найбільший струм	А	2x3700
К. П. Д.	%	94,4/95,8
Частота обертання вала	об/хв	1000
Маса	кг	6000
Клас ізоляції обмотки: статора ротора		Н F

Тяговий генератор типу ГП-311Б (рис.1.3) повинен забезпечувати тривалу роботу при номінальній швидкості обертання в діапазоні від тривалого струму до максимальної напруги. При цьому він повинен споживати всю вільну потужність дизеля, що забезпечує схема регулювання збудження, але параметри генератора обрані для максимальної вільної потужності дизеля. На головних полюсах генератора є пускова обмотка тільки для пуску дизеля.

Генератор ГП-311Б є електричною машиною постійного струму. Виконаний він десятиполюсним і має як головні, так і додаткові полюси. На головних полюсах розміщена незалежна обмотка збудження й пускова обмотка.

Якір генератора. Один кінець вала якоря з'єднаний через пластинчасту муфту з дизелем, а до іншого кінця з боку колектора приєднується через редуктор компресор. Корпус якоря виконаний у вигляді бочки, на зовнішній поверхні якої розташовані ребра й диски для розміщення шихтованого сердечника. Шихтований сердечник якоря набраний із сегментних листів, стягнутих шпильками в осьовому напрямку між натискними шайбами. У радіальному напрямку він закріплений клиновими шпонками. Колектор якоря аркового типу. Колекторна мідь легована невеликою кількістю срібла. Кожна колекторна пластина з'єднана з котушкою якоря за допомогою стрічкової міді - «гнучкого петушка».

Основні технічні дані тягового генератора ГП-311Б наведені в таблиці 1.2.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Номінальна частота обертів	об/хв	850
Діюче значення лінійного струму	А	4320
Найбільший струм	А	6600
К. П. Д.	%	93,8
Маса	кг	8900

Таблиця 1.3 – Характерні несправності вузла, види зношення, способи їх виявлення та причини, що їх викликають.

Несправність	Ймовірна причина	Усунення
1. Зниження опору ізоляції обмоток	1. Попадання всередину агрегату вологи паливо-мастильних матеріалів, бруду 2. Перегрів генератора через порушення вентиляції	Очистіть поверхні обмоток від забруднень і (або) зробіть сушку ізоляції обмоток
2. Пробій на корпус ізоляції обмоток	1. Експлуатація при надмірному зниженні опору ізоляції 2. Руйнування корпусної ізоляції від перегріву тягового або допоміжного генераторів 3. Механічне пошкодження корпусної ізоляції	Усуньте причини пробою на корпус ізоляції. Проведіть ремонт з частковою або повною заміною що вийшли з ладу обмоток
3. Міжвиткове замикання в обмотках роторів	1. Механічне руйнування ізоляції. 2. Перегрів через порушення вентиляції	Усуньте причини міжвиткового замикання. Проведіть ремонт з заміною полюса (полюсів) або ротора

Продовження таблиці 1.3

Несправність	Ймовірна причина	Усунення
4. Підвищення нагріву підшипників	1. Надлишок мастила в підшипниках	Приведіть кількість мастила в відповідність

	2.Затирання деталей підшипникового вузла 3.Малий радіальний зазор в підшипнику 4.Руйнування деталей підшипника 5.Проворот внутрішнього кільця	до встановлених норм. З'ясуйте та усуньте причини затирання. Замініть підшипник
5. Розпаювання обмотки статора в лобовій частині або виводів обмотки	1.Порушення системи вентиляції 2. Тривалість перенавантаження генератора	Усуньте причини, що порушують нормальне охолодження агрегату. Перепаяти пошкоджені місця
6. Відгар виводів катушок або шин роторів	Ослаблення контактних з'єднань, а також механічне порушення контактного з'єднання	Замініть полюса з катушкою, замініть шини

1.2 Загальні характеристики тягових електродвигунів тепловозів

На тепловозах з передачею потужності постійного або змінно-постійного струму застосовуються тягові електродвигуни постійного струму з послідовним збудженням. Тягові електродвигуни виконуються в основному з опорно-осьовим підвішуванням. При опорно-осьовому підвішуванні тяговий електродвигун спирається на середню частину осі колісної пари, що має спеціальні опорні шийки, двома моторний-осьовими підшипниками. Третя опора тягового двигуна виконана пружною у вигляді пружинного комплекту, що складається з чотирьох пружин. Пружинний комплект встановлюється між виступами кронштейнів рами візка і на нього спеціальними носиками спирається тяговий електродвигун. З 1975 р. на всіх тепловозах потужністю до 2200 кВт встановлюються тягові електродвигуни ЕД-118Б.

						0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

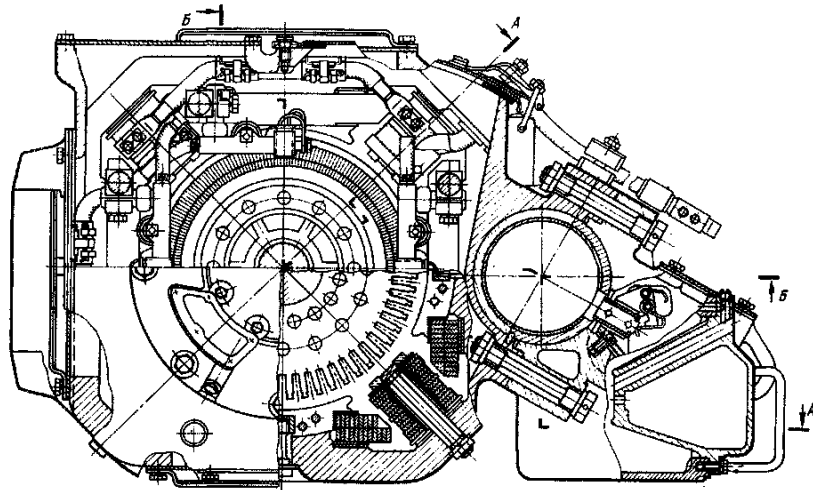


Рисунок 1.4 – Тяговий електродвигун ЕД-118Б (подовжній і поперечний розрізи):
 1 – трубка подачі мастила; 2 – колектор; 3, 21 – роликові підшипники; 4, 22 – підшипникові щити; 5 – щіткотримач; 6 – кронштейн; 7 – щітка; 8 – палець щіткотримача; 9 – котушка додаткового полюса; 10 – остов; 11 – передня нажимна шайба; 12 – сердечник додаткового полюса; 13 – сердечник головного полюса; 14 – якір; 15 – котушка головного полюса; 16 – якірна котушка; 17 – задня нажимна шайба; 18 – дренажний отвір; 19 – лабіринтове кільце; 20 – вал якоря

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

16

Тяговий електродвигун ЕД-118Б (рис. 1.4) складається з остову 12, котушок головних 23 і додаткових 10 полюсів, підшипникових щитів 4, якірних підшипників 3, 19, якоря, моторний-осьового підшипника.

Кришка верхнього люка (швидкоз'ємна) закривається пружинним замком, а нижнього і бокового – болтами.

Тягові електродвигуни являються реверсивними, і різниця частот обертання валів в різні сторони при одному і тому ж навантаженні не повинна перевищувати 4%.

Тяговий електродвигун має 4 головних і 4 додаткових полюса (рис. 1.5, а, б).

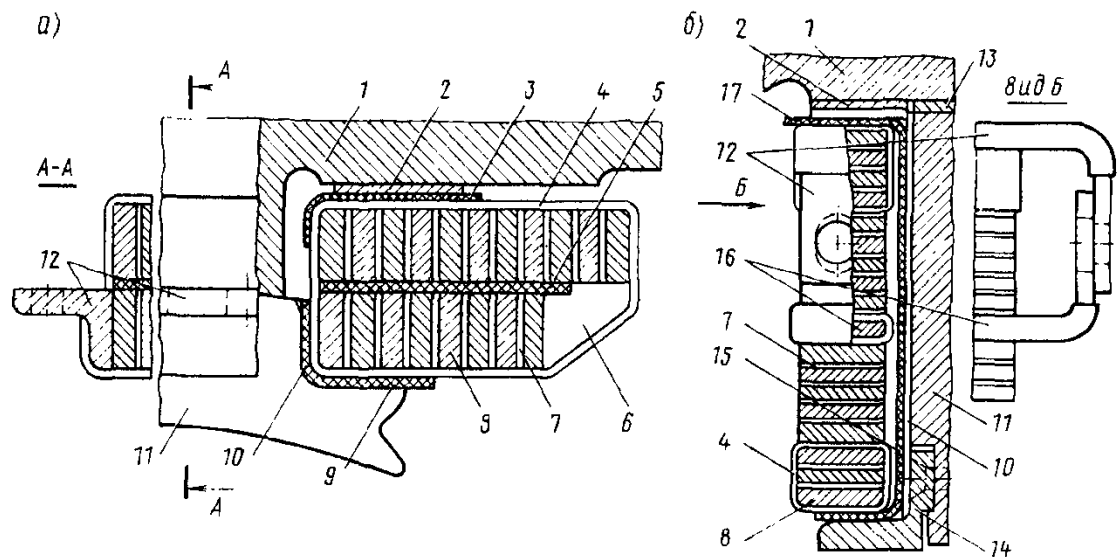


Рисунок 1.5 – Полюси тягового електродвигуна ЕД-118Б:

а – головний; б – додатковий; 1 – корпус електродвигуна; 2 – хвильова пружина; 3, 15 – ізоляційний каркас; 4 – корпусна ізоляція котушки; 5, 17 – ізолюючі рамки; 6 – ізоляційний заповнювач; 7 – міжвиткова ізоляція; 8 – провід котушки; 9 – захисний каркас; 10 – ізоляція сердечника; 11 – сердечник; 12 – вивід котушки; 13 – немагнітна прокладка; 14 – немагнітний опорний кутник; 16 – пластина підпору виходу котушки

Сердечники головних полюсів збирають (шихтують) із штампованих листів малоуглецевої сталі Ст2, спресовують і закріплюють заклепками. В середині кожного листа сердечника виштамповано отвір для запресовки сталю стержня.

										0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							17

Три болта, які кріплять сердечник до корпусу, вкручують в стержень, а їх головки заливають кварцкомпаундом, що протидіє просочуванню вологи всередину корпусу.

Сердечники додаткових полюсів виготовлені із прокату Ст3.

Між сердечником і корпусом розміщені дюралюмінієві немагнітні прокладки, що збільшують повітряний зазор в магнітному колі.

Котушки головних полюсів намотані із голої полосової міді в два шари. Котушки додаткових полюсів намотані також із голої полосової міді, але на ребро. Виткова ізоляція котушок головних полюсів виконана з азбестового паперу, шари котушки ізолювані один від одного склотекстолітовою прокладкою. Для забезпечення закріплення котушки на сердечнику, зазори між ними заповнюють азбестовою стрічкою САЕ і потім пропитують в компаунді Моноліт-2. Ізоляція класу F. Котушки додаткових полюсів від сердечника ізолюють азбестовою стрічкою ЛС40РУ і скляною стрічкою СЕС. Пустоти заповнюються замазкою П-11. Потім котушку пропитують в компаунді. Клас ізоляції F. Щоб компенсувати усадку ізоляції котушок при експлуатації, на головних і додаткових полюсах встановлені пружинні рамки. Схема з'єднання обмоток тягового електродвигуна ЕД-118Б наведена на рис. 1.6. У табл. 1.4 приведені дані обмоток тягового електродвигуна.

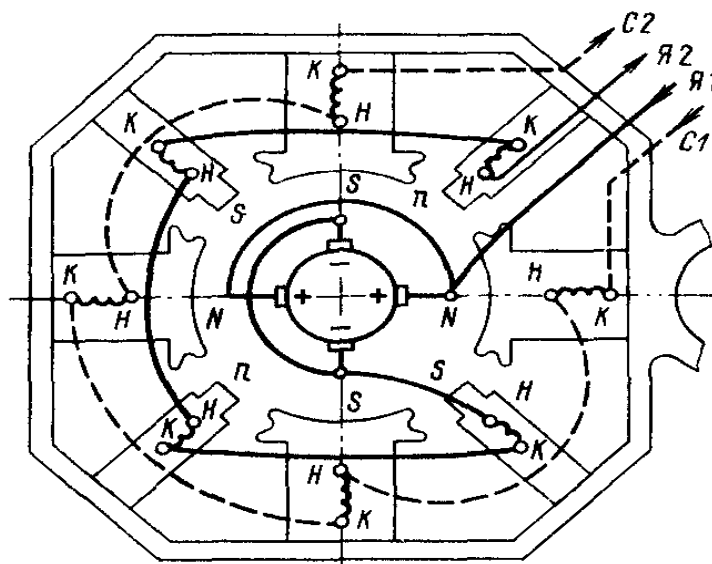


Рисунок 1.6 – Схема з'єднання обмоток ТЕД ЕД-118Б:

						0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

н, к – початок і кінець котушок полюсів; Я1, Я2 – початок і кінець обмотки якоря; С1, С2 – початок і кінець обмотки послідовного збудження; штриховими лініями показані з'єднання котушок головних полюсів зі сторони протилежної колектору

Таблиця 1.4 – Технічні дані обмоток полюсів і якоря тягового електродвигуна

Параметри	Величина по обмотках		
	головних полюсів	додаткових полюсів	якоря
Число витків на полюс	19	17	4
Марка дроту	МГМ	МГМ	ПЕТВСД
Розмір головного дроту, мм	8×25	6×30	1,68×6,4
Число катушок	4	4	54
Число паралельних дротів	1	1	3

1.3 Технологія ремонту електричних машин

Електроапаратний цех займається виключно ремонтом, відновленням та випробуванням електричних апаратів тепловозів: контакторів, електричних мереж тепловозів, виконує монтаж електричних схем та електроапаратури при збиранні тепловозів. Номенклатура електричних апаратів, що ремонтуються в електроапаратному цеху, достатньо велика, тому цех багато номенклатурний і організація ремонту в цеху допоміжних електричних машин не міняє характеру виробництва. Склад основних виробничих підрозділів визначається вимогами виробничого процесу ремонту тепловозів та вузлів.

При ремонті електричних машин, в обсязі КР-1, виконуються наступні роботи:

- остов і його деталі мийуть у мийній установці, ретельно оглядають, визначають дефекти;
- тріщини у всіх зварених швах остова вирівнюють по всій довжині старого шва, заварюють і обробляють;

– овальність, конусність, задири і раковини горловин під підшипникові щити і моторно-осьові підшипники більш припустимих креслярських розмірів усувають розточенням до ремонтних градаційних розмірів;

– при невідповідності нормам відстані між зовнішніми торцями моторно-осьових горловин наплавляють їх з наступною обробкою до креслярського розміру;

– підшипникові щити, їхні кришки і лабіринти оглядають;

– тріщини в підшипникових щитах і кришках вирівнюють до повного видалення і заварюють електричним зварюванням, лабіринтові й ущільнювальні кільця, що мають тріщини заміняють новими. Зношені поверхні підшипникових щитів, їхніх кришок і лабіринтових ущільнювальних кілець відновлюють наплавленням з наступною механічною обробкою до креслярських розмірів.

Над котушками головних і додаткових полюсів роблять такі операції:

– котушки знімаються, очищаються від забруднення, перевіряють чи немає міжвидового замикання, стан ізоляції;

Якір і його деталі ремонтують так:

– якір очищається, перевіряється міжвиткове замикання, опір ізоляції, електрична міцність, геометричні параметри;

– кінці вала перевіряють дефектоскопом;

– вали якорів, що має діаметр менш припустимих розмірів, а також з овальністю, конічністю і биттям шийки в місцях посадки підшипників більш припустимих норм відновлюються вібродуговим наплавленням під шаром флюсу з наступною обробкою по кресленню;

– забоїни, задири і ризки на конусі вала усуваються;

– центри валів перевіряють і виправляють з урахуванням норм на биття вала в місці установки підшипника і по конусі.

Над колектором виконують такі види робіт:

– колектор оглядається, перевіряється стан робочої поверхні, ізоляції, колекторних пластин, міцність затягування колекторних пластин у конусах і стан півників;

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– робочу поверхню колектора обробляють до виведення вироблення до конусоподібності з мінімальним зняттям міді до ремонтного розміру;

– колектор проточується, шліфується, знімаються фаски.

Над обмоткою якоря проводяться наступні роботи:

– перевіряється опір ізоляції якоря, електрична міцність;

– після просочення і сушіння ізоляції, проточки і продорожки колекторів проводять динамічне балансування.

Технологічне обладнання з ремонту якорів тягових електродвигунів представлені на рисунках 1.7–1.8.



Рисунок 1.7 – Станок для продорожки колекторів після обточування якоря

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рисунок 1.8 – Пристрій для перевірки пайки обмотки якоря електродвигуна

Технологічне обладнання до ремонту остовів тягових електродвигунів представлено на рисунках 1.9–1.10.



Рисунок 1.9 – Установка вібродугової наплавка вала якоря електродвигуна

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 1.10 – Розточка остова електродвигуна під підшипникові щити та моторно-осьові підшипники

1.4 Характеристика технологічного обладнання по ремонту тягових машин тепловозів

Для виконання комплексу робіт з ремонту електричних машин електроапаратний цех має достатній парк технологічного обладнання, такого як гідравлічні преси, обмивальні установки, просочувальна установка, установки для випробування силових випрямлячів, і випрямляючої установки в цілому. Для забезпечення такого комплексу роботи потрібні висококваліфіковані працівники, які проходять інструктажі і здають екзамени, а це запорука успішної роботи яку покладено на завод.

1.4.1 Установка для автоматичного наплавлення підшипникових щитів тягових електродвигунів.

Установка (рис. 1.11) призначена для автоматичного наплавлення внутрішньої і зовнішньої поверхні посадочних місць підшипникових щитів тягових електродвигунів тепловоза ЧМЭЗ та 2ТЭ116.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 1.11 – Загальний вид установки для наплавлення підшипникових щитів тягових електродвигунів

Технічна характеристика установки

Наплавлення здійснюється електродним дротом діаметром, мм	2
При напавленні зовнішньої поверхні щита швидкість обертання деталі, об/хв.	0,4
При напавленні внутрішньої поверхні щита швидкість обертання деталі, об/хв.	0,3
Продольне переміщення зварювального автомата за один оберт деталі, мм	4

Електродвигун редуктора обертання деталі:

- тип	4A90LB8Y3
- потужність, кВт	1,1
- частота обертання, об/хв.	750

Електродвигун поздовжнього переміщення супорта:

- тип	МАГ-2
- потужність, кВт	180
- частота обертання, об/хв.	2800

При установці щитів на вал редуктора застосовуються змінні фланці.

Подача щита на установку, для його монтажу на валу редуктора, проводиться за допомогою тельфера або крана.

Використання автоматичної установки має великі переваги перед ручним наплавленням підшипникових щитів:

- значно зменшується час наплавлення, на 30–40% підвищується продуктивність;
- забезпечується оптимальна товщина і якість наплавленого шару, що самим позитивним чином впливає на наступні операції механічної розточки;
- гомогенність наплавленого шару сприяє мінімуму механічної обробки та підвищенню якості;
- виключається перегрів;
- відсутність деформацій при наплавленні;
- набагато спрощується орієнтація деталей і підвищується точність їх установки в заданому положенні відносно мундштука при наплавленні, при цьому відпадає ряд трудомістких ручних операцій;
- процеси наплавлення йдуть в автоматичному режимі за програмою з використанням контролера, роль зварювальника зводиться до налаштування режимів наплавлення конкретної деталі, включенню робочого режиму і візуальному контролю.

При заводському ремонті підшипникових щитів тягових електродвигунів дозволяється:

- наплавляти посадочні місця щита, гнізда для підшипників, зношені лабіринтові горловини;
- заварювати тріщини в тілі щита і спрацьовані різьбові і прохідні отвори щитів з наступною обробкою за кресленням;
- приварювати накладки повітряних каналів;
- ремонтувати лабіринтові горловини постановкою вварних втулок.

Забороняється заварювати тріщини в підшипникових щитах, що поширюються від гнізда підшипника до посадочної поверхні.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Наплавлення посадочних місць, гнізд підшипників, лабіринтових горловин, площин підшипникових щитів здійснювати автоматичним або напівавтоматичним наплавленням під шаром флюсу, порошковим дротом марки ПП-ТН250 або в середовищі вуглекислого газу зварювальним дротом Св-08ГС, Св-08Г2С. Допускається ручне наплавлення електродами типів Е42, Е46.

Автоматичне наплавлення підшипникових щитів під шаром флюсу на установці здійснювати на наступних режимах: при наплавленні зовнішньої поверхні швидкість подачі електродного дроту повинна бути 126 м/год, сила струму 240–275 А, напруга 32–34 і швидкість обертання деталі 0,3–0,4 об/хв залежно від розміру щита, а при наплавленні внутрішньої поверхні швидкість подачі електродного дроту повинна бути 100 м/год, сила струму 220–250 А. Наплавлення вручну виконувати електродами типу Е42 діаметром 5 мм широкими поздовжніми валиками в один шар.

Заварку тріщин у щитах робити електродуговим зварюванням електродами типів Е42А, Е46А, Е50А.

Лабіринтові горловини підшипникових щитів, зношені більше 4 мм по діаметру проти креслярського розміру, відновити шляхом приварки втулки. Горловину щита при цьому розточити на 15–18 мм більше креслярського розміру, встановити втулку і приварити її електродуговим зварюванням. Посадочні місця щита і гнізда підшипника при цьому повинні бути наплавлені. Після наплавлення поверхні обробити за кресленням.

1.4.2 Верстат для балансування роторів.

Верстат балансувальний модель МС9Б718 (рис 1.12), призначений для визначення кута і значення дисбалансу у балансувальних роторів, що поступають на завод, і після проходження ремонту потребують балансування і точного налагодження, з діагностикою всієї системи ротора у складі установки.

Усунення дисбалансу можна робити як зміщенням на роторі балансувальних вантажів, так і шляхом видалення матеріалу на передбачених місцях. Усунення дисбалансу механізмами верстата не проводиться.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Балансування роторів, що створюють значні повітряні потоки, повинна проводитися в спеціальних закритих кожухах, що встановлюються на станині верстата. Кожухи повинні бути роз'ємними і забезпечувати зручну установку балансувального ротора. Зазори між стінками кожуха і ротором повинні бути не більше 30 мм.

Верстат працює нормально в інтервалі температур навколишнього середовища від +1°C до +35°C, кліматичні виконання УХЛ по ГОСТ151150-69. На верстаті балансуються тільки жорсткі ротори і будучи динамічно збалансовані при деякій кутовій швидкості, зберігають цей стан, і при інших можливих кутових швидкостях.



Рисунок 1.12 – Верстат для балансування ротора електричних машин

Вважається, що верхня межа жорсткості, після якої тіло стає гнучким, знаходиться в межах, які обумовлені такими параметрами як частота вимушених коливань та власна частота.

При балансуванні ротора на власних підшипниках кочення залишковий дисбаланс балансувального ротора залежить від класу точності підшипника кочення, тобто від його радіального биття. Основні технічні дані наведені в таблиці 1.5.

Привід механізмів верстата – електричний, живиться від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц, напруга 380 В.

Таблиця 1.5 – Технічні данні балансувального верстата

Технічні характеристика	Величина
1	2
Найбільша маса балансувального ротора, кг	3000
Найбільший допустимий діаметр ротора, мм	2300
Найбільша відстань між серединами опор при відстані від торця пристрою до середини найближчої опори не менше 0,15 мм	3000
Найменша відстань між серединними опорами, мм	280
Найбільший діаметр цапф ротора, мм	250
Найбільший діаметр підшипників кочення, змонтованих на цапфах ротора, мм	450
Допустимий початковий дисбаланс, ГММ/кг	1000
Частота обертання приводу, об/хв.	200–1600
Потужність приводу обертання ротора, кВт	18,5
Сумарна потужність встановлених на верстаті електродвигунів, кВт	18,5
Габаритні розміри верстата (разом з окремо-розташованими агрегатами і електроустаткуванням), мм	
- довжина	6110
- ширина	3225
- висота	2160
Маса верстата (разом з окремо розташованими агрегатами електроустаткуванням), кг	6078

Технічне обслуговування верстата, вказівки з технічного обслуговування, експлуатації та ремонту визначаються технічними умовами верстата. Для продовження терміну служби верстата необхідно ретельний догляд за ним, своєчасна змащування вузлів і деталей. Особливо уважно слід стежити за підвіскою, привідною муфтою, роликівими і призматичними опорами. Дуже важливо регулярно проводити профілактичну перевірку верстата для виявлення неточностей роботи верстата, що з'явилися в процесі експлуатації. Рекомендується перевіряти налаштування верстата не рідше одного разу на місяць.

Для того щоб не виникало проблем в роботі на верстаті потрібно дотримуватися класифікації муфт і опор використовуються на даному стенді, класифікація приведена в таблиці 1.6.

										Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.190069.000.02MP.ПЗ					

Таблиця 1.6 – Класифікація муфт і опор верстата

Маса виробу, кг	Рекомендована частота обертання виробу, об/хв	Граничний момент муфти, кг/м	Роликові при- зматичні опори
50	1600	12	малі
100	1200	12 або 50	
300	1000	50	
1000	800	50 або 225	великі
3000	500	225	

1.4.3 Стенд кантувач для зборки магнітної системи тягових генераторів

Стенд призначений для розбирання, збирання і кантування магнітної системи остовів тягових генераторів. Основні технічні характеристики кантувача приведені в таблиці 1.7.

Кантувач компонується за принципом вузлової збірки. Кріплення вузлів і деталей робиться зварюванням і болтами. Точність монтажу досягається шляхом припасування по сполучним деталям і прокладкам. Базою кантувача є стійка ліва й стійка права. Стійка ліва зварена. У лівій частині має прокладку для установки електродвигуна й кріплення черв'ячного редуктора (першого), а у верхній частині стійки розташовані дві обойми - постелі, що є опорною частиною вала, на який установлюється й кріпиться черв'ячне колесо другого черв'ячного редуктора (рисунок 1.13).

Вал установлюється у втулку підшипника ковзання й закривається кришками. З іншої сторони вала приварена планка, де встановлена напрямний штифт і два отвори до яких кріплять одну сторону остова. Аналогічно валу на правій стійці кріпиться вісь пересування. Відстань між планкою вала й планкою осі змінюється в залежності який остов установлювати.

Черв'ячне колесо входить у зачеплення із черв'яком, що встановлюється в корпус стійки, а цапфи черв'яка опираються на бронзові втулки й фіксуються

втулками. З метою дотримання техніки безпеки черв'ячна пара другого редуктора закрита кожухом, що прикріплений до стійки болтами. Для установки ремонтуемого остова на опорні планки в них є напрямні штифти. Установлений кістяк на кантувачі кріпиться болтами й гайками.

Знятий з генератора остов встановлюється на планки кантувача мостовим краном і кріпиться болтами й гайками. За допомогою кнопочового вимикача, повертаємо й зупиняємо в будь-якому необхідному положенні. Проводяться роботи: розбирання, заміна деталей магнітної системи, ремонт і зборка. Після цього мостовим краном знімається остов з кантувача.

Удосконалення стенду-кантувача для кантування магнітної системи тягових генераторів проводять шляхом поглибленням виїмки під самим кантувачем, а саме поглиблення на 400 мм від поверхні підлоги, для того щоб генератор можна повертати на 180° в протилежну сторону, а також додаткові пластини кріплення які відповідають кріпленню та відстані розміщення вушок генератора ГС-501. Дає змогу проводити ремонт тягового генератора набагато швидше та ефективніше з меншим часом для виконання даної роботи.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

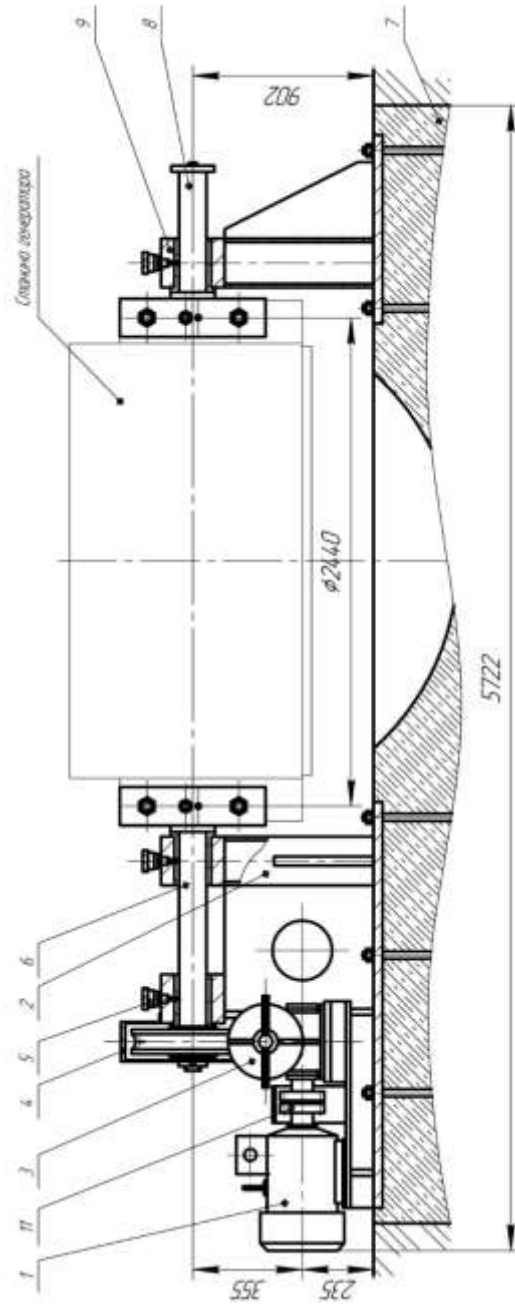


Рисунок 1.13 – Кантувач магнітної системи тягових генераторів:

- 1 – електродвигун; 2 – стійка ліва; 3 – черв'ячний редуктор; 4 – кожух; 5 – маслянка; 6 – вал; 7 – фундамент;
 8 – вісь; 9 – стійка права; 11 – муфта

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

31

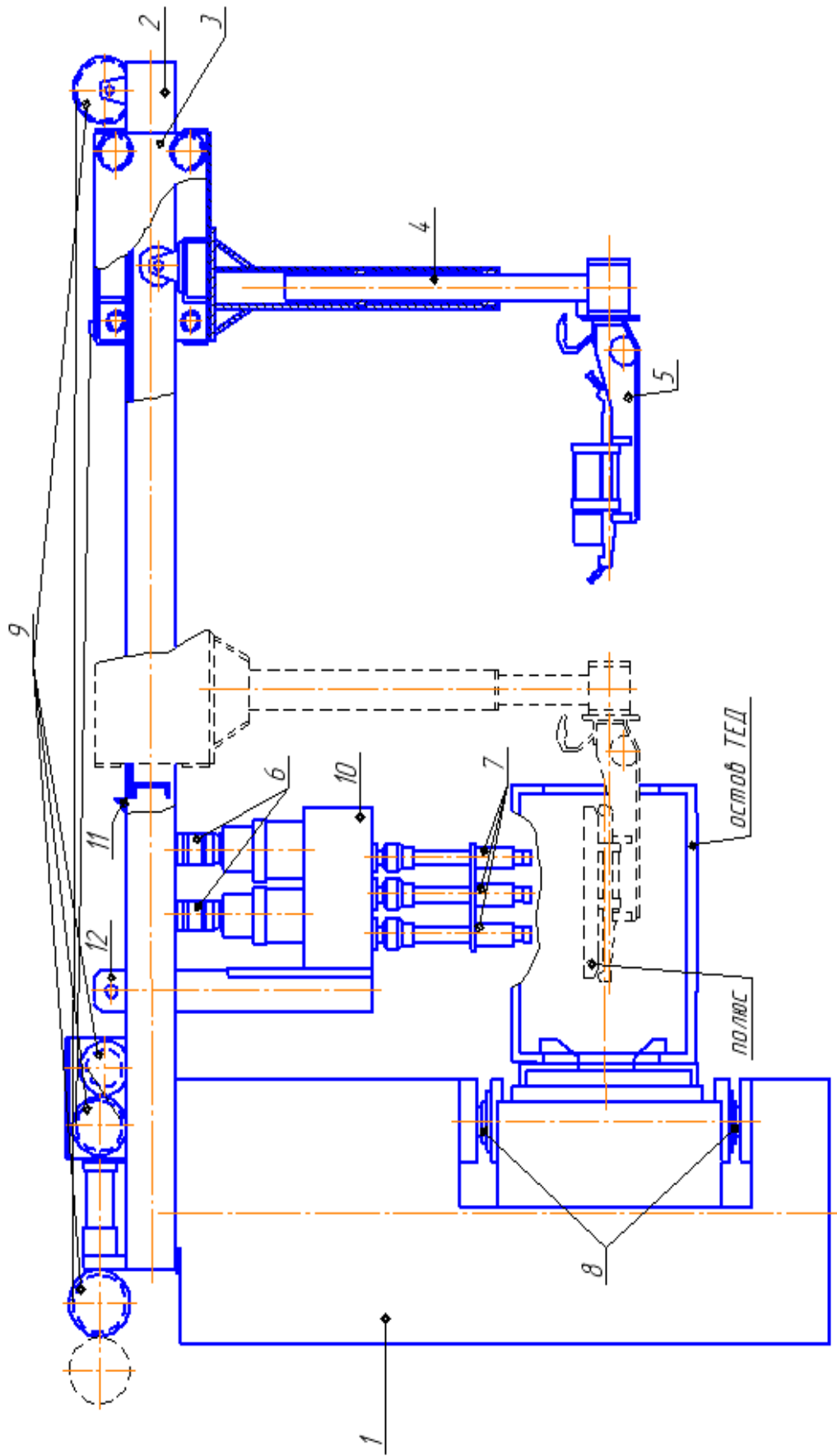


Рисунок 1.14 – Маніпулятор для збирання магнітної системи ТВД:

- 1 – опора; 2 – візок; 3 – штанга; 4 – захват; 5 – електродвигуни; 7 – болтоверти; 8 – шайби зажимні;
 9 – колеса натяжні; 10 – редуктор; 11 – опора; 12 – кріплення болтоверта

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

33

Його використовують і для транспортування підшипників, і устаткування для збирання, переміщення з збирального відділення до фарбувального відділення, на рисунок 1.16 зображено кран балку.



Рисунок 1.15 – Кантувач остова



Рисунок 1.16 – Кран балка

Остов розміщують вертикально, і ставлять на резинові ковдри для зменшення пошкоджень при збиранні системи. Потім робітник за допомогою кран-балки закріплює частину магнітної системи на спеціальних повідках, які зображені на рисунку 1.17.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



Рисунок 1.17 – Магнітний полюс на повідку

Вся магнітна система знаходиться на спеціальних столах, які знаходяться поряд з місцем збирання. Закріпивши частину магнітної системи, за допомогою пульту керування краном, він переміщає систему до місця збирання магнітної системи, це місце зображено на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Місце збирання магнітної системи

Потім за допомогою декількох працівників і інструменту полюс закріплюють на основі, і таким чином в ручну закручують болти кріплення полюсу.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСОЧЕННЯ ТА СУШІННЯ РОТОРІВ ТА СТАТОРІВ ТЯГОВИХ МАШИН

2.1 Технологічні вказівки та нормативні вимоги до існуючого методу просочення якорів

Просочення якорів виробляють в баку, методом занурення якоря в компаунд, на тривалий час. Існуючий метод просочення керується правилами і технологічними нормами, які зобов'язують послідовне виконання всіх операцій. Просочення і покриття деталей і вузлів проводити при капітальних КР-1 і КР-2 заводських ремонтах після встановлених пробігів, а також при в не планових ремонтах, вироблених в заводських умовах [4].

При покритті деталей і вузлів лаками і емалями на їх поверхню наносити тонкий суцільний шар. Лаки і емалі наносити таким чином, щоб вийшла рівномірна щільна та еластична плівка. Хороша якість плівки виходить при товщині 0,1–0,15 мм. Більш товстий шар погано просихає і знижує якість покриття. Якщо потрібно отримати товстий шар плівки, то вузли покривають лаком або емаллю кілька разів, при цьому кожен шар повинен бути просушений, що надає плівці більш високу вологостійкість, хорошу водонепроникність та інші захисні властивості.

Для більш якісного проникнення лаків і емалей їх наносити на підігріті до температури 60–70°C деталі і вузли. В залежності від властивостей застосовуваного лаку або емалі деталі й вузли сушити при кімнатній температурі або в печі. Кількість просочувань або покриттів деталей і вузлів встановлювати в залежності від умов експлуатації, конструкції, а також від застосовуваних ізоляційних матеріалів, лаків, емалей, компаундів.

Температуру і час сушки виробів після просочення або покриття встановлювати в залежності від властивостей лаків, емалей, і компаундів, способу сушіння, а також від досягнення необхідної даної інструкцією величини опору ізоляції.

Просочення котушок якорів проводити перед накладенням корпусних ізоляцій. Також просочення котушок якоря проводити у вертикальному положенні способом занурення в лак так, щоб рівень лаку не доходив до кінців секцій. Перед

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

сушінням котушок після просочення витримати їх під вентиляцією протягом 10–15 хвилин для стіку надлишків лаку. Якість просочення виткової ізоляції визначити візуально по еталону. Саму котушку якоря після просочення і сушіння обпресувати при температурі не менше 70°C з охолодженням в прес-формі до температури не більш 40°C.

Послідовність операцій, і чітке виконання вимог нормативних документів дає можливість правильно і якісно здійснити процес просочення якорів.

Чимало важливим фактором в просочуванні якорів, є вибір лаків, емалей, компаундів. Вимоги до вибору матеріалів обумовлені нормативними документами. Просочення й покриття ізоляційними лаками, компаундами і емалями призначені для відновлення та підвищення електричної і механічної міцності, нагрівостійкості, теплопровідності, вологостійкості, малостійкості та інших властивостей ізоляції обмоток з метою підвищення надійності і терміну служби електричних машин в умовах експлуатації.

Всі ізоляційні матеріали, що застосовуються для просочення, промазки і покриття деталей і вузлів електричних машин, повинні мати сертифікати заводу-виробника, що підтверджують їх відповідність вимогам діючих стандартів або технічних умов. Важливо знати, що за відсутності сертифікатів застосування ізоляційних матеріалів допускається тільки після випробування їх, в заводській лабораторії та отримання результатів, що підтверджують їх відповідність вимогам стандартів або технічних умов.

Лаки, компаунди та емалі, що знаходяться на робочих місцях у просочувальних відділеннях, повинні відповідати вимогам цієї інструкції і систематично контролюватися лабораторним шляхом відбору проб не посередньо з змішувачів, лакоприймачів, ванн і автоклавів.

На заводі існують свої нормативні документи та вимоги до просочення, покриття і сушіння деталей і вузлів електричних машин. Просочення, покриття і сушка вузлів електричних машин повинні проводитися в спеціально призначеному для цієї мети виробничому приміщенні, оснащеним відповідним обладнанням та технологічним оснащенням.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

При виконанні робіт з просочування, обробці і сушінні електричних машин повинні здійснюватися правила техніки безпеки, протипожежної безпеки та виробничої санітарії. Деталі електричних машин перед просоченням повинні бути ретельно очищеними від пилу, бруду і старої фарби.

При одночасному завантаженні в сушильну піч кількох деталей або вузлів електричних машин необхідно по можливості підбирати їх з однаковим температурним режимом і часом сушки. Не рекомендується переривати технологічний процес сушіння, відкривати сушильну піч для прямого завантаження або вивантаження виробів. У разі необхідності відкриття печі, встановлений мінімальний час сушки має бути збільшено не менш ніж на 30 хвилин після кожного відкриття. При тривалому перериванні процесу сушіння і охолодження виробів режим і час сушіння повторити.

Обмотки електричних машин після просочення, сушіння та покриття повинні мати тверду, гладку і блискучу поверхню без тріщин, зморшок, здуття і слідів перегріву, міцно пов'язану з основною ізоляцією. Патьоки по поверхні абсолютно не допускаються.

Поверхні деталей і вузлів (шийки вала, виводи котушок, різьбові і прохідні отвори) не підлягають покриттю, повинні бути очищені від лаку до металевого блиску. Режим сушіння і просочення контролювати з застосуванням відповідних контрольно-вимірювальних приладів і вести облік часу сушіння, температури, вакууму.

2.2 Установка для ультразвукового просочення якорів ТЕД

Ультразвукове просочення використовують для просочення ізоляції електричних машин і апаратів. Ультразвукові хвилі, впливаючи на просочувальну рідину, сприяють проникненню лаку у вузькі канали, порожнини і мікротріщини, багаторазово посилюючи капілярний ефект. Зв'язуюча речовина розташовується рівномірно по всьому об'єму. Збільшується довговічність і міцність ізоляції та герметизації.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Ультразвукова технологія просочення має ряд переваг у порівнянні з вакуумно-нагнітальною. Незалежна експертиза якості ультразвукової просочення показала, що лак проникає в закриті порожнини обмотки і рівномірно покриває котушки в пазах.

Впровадження установки скорочує час просочення і сушіння в кілька разів, знижує трудомісткість за рахунок скорочення допоміжних операцій на 30–40%. Витрата азоту скорочується на 70%. За рахунок скорочення часу роботи сушильних печей витрата електроенергії зменшується на 61%. Зазвичай використовується одноразове просочення замість багаторазового. Це збільшує пропускну здатність просочувально-сушильного відділення.

Установка для ультразвукового просочення обмоток якорів (рис. 2.1) складається з наступних елементів: просочувальний бак, збірник і відстійник лаку, високочастотний ультразвуковий генератор, магнітострикційні перетворювачі, механізм закриття кришки бака і обертання якоря, а також гідравлічна, пневматична та водяна система.

Число просочень, яким піддаються обмотки електричних машин, залежить від умов експлуатації (у тому числі від довкілля і температури, умов пуску і ін.), а також від конструкції обмотки і її ізоляції, типа застосованих ізоляційних матеріалів, лаків або компаундів і способів просочення. Ультразвукове просочення вимагає відносно складного устаткування, але дає якісний ефект і скорочує цикл просочення і сушки, який в основному визначається тривалістю процесу сушки.

Для працездатності перетворювача повинні дотримуватись таких умов:

- температура води для охолодження не повинна перевищувати +35°C;
- зміст розчинних домішок у воді не повинна перевищувати 15 мг/л;
- надійно заземлити перетворювач;
- приєднати обмотку перетворювача згідно вказаного паспорту на ультразвуковий генератор;
- під'єднання перетворювача виробляється перетином дроту не менш 6 мм²
- довжина дротів повинна бути не більш вісім метрів, при збільшенні довжини дротів, їх перетин необхідно збільшити до 8 мм²;

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- довжина дротів більш 30 метрів робити не рекомендується;
- підвести к штуцерам трубки до вхідного штуцера с внутрішнім діаметром 5 мм від водопроводу і штуцер повинен бути розташованим знизу перетворювача;
- до вхідного штуцера з внутрішнім діаметром 12 мм вихід до каналізації і штуцер повинен розташовуватися зверху перетворювача (при цьому водяна трубка обов’язково повинна забезпечувати вільний стік води).



Рисунок 2.1 – Загальний вид установки для ультразвукового просочення якорів тягових електродвигунів

Технічна характеристика установки

Параметри якорів що просочуються:

- діаметр заліза, мм 250-520
- висота набору заліза, мм 430 max

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

– діаметр крильчатки, мм	640 max
Тип ультразвукового генератора	УЗГЗ-4
Потужність генератора, кВт	4
Тип магнітострикційного перетворювача	ПМС15А-18
Робоча частота, кГц	18
Кількість перетворювачів, шт.	2
Просочувальний лак	ФЛ-98
Обсяг лаку в баку, куб.м	1
Тип приводу обертання якоря	електромеханічний
Частота обертання якоря при просоченні, об/хв.	
	1 (діаметр 420...520)
	1,3 (діаметр 250...400)
Потужність приводного двигуна, кВт	0,37
Привід допоміжних механізмів	ручний

Порядок роботи. Подати на електродвигун напругу живлення. Електродвигун через черв'ячний редуктор, ланцюгову передачу буде обертати якір навколо вертикальної осі з частотою 1об/хв. Після виконання усіх дій по підготовці перетворювача до роботи, послідовно виконують наступні операції:

- включити водяне охолодження перетворювача;
- включення генератора, робота с перетворювачем, и вимкнення генератора призводить згідно вказівкам паспорта на ультразвуковий генератор;
- включення водяного охолодження повинно виконуватись не раніше, ніж через 5 хвилин, після вимкнення генератора;
- подати на ультразвуковий генератор напругу ;
- включити автоматичний вимикач;
- натиснути кнопку включення живлення напруги на силовий випрямляч;
- встановити перемикач регулювання струму підмагнічування амперметру струму підмагнічування 26 А;
- увімкнути напругу управління на тиристори інвертора, про що сигналізує

светоодіод управління;

– налаштувати ручку регулятор частоти генератор в резонанс з навантаженням по максимуму показаній прибору струм входу;

– збільшити регулятор потужності генератора, при цьому показники прибору струм входу не повинен перевищувати 13 А;

– вимкнути управління, перемикач АПЧ-РУЧН. встановити в положення АПЧ і включити управління;

– подальше включення та вимкнення генератора при роботі виробляється кнопками включення та виключення;

– повне вимкнення генератора відбувається в наступній послідовності.

Високочастотні електричні коливання, генерируючі УЗГ не передаються у пакети магнітнострокующим перетворювачем и створюють в них постійні та змінні магнітні потоки. Під їх впливом пакети змінюють свої лінійні розміри з частотою, рівної частоти змінного струму збудження. В перетворювачі, таким чином виникають ультразвукові коливання. Ці коливання передаються безпосередньо робочою рідиною. Коливання які виникли, сприяють інтенсивному проникненню просочувального лака в ізоляцію обмоток якорів.

Перед просовуванням робиться сушка якорів терміном 10 годин при температурі 150–160°C з наступним охолодженням до температури 70–80°C. Ультразвукове просочування виконується у два цикли по 6 хвилин, з вимкненням УЗГ на 5 хвилин для охолодження перетворювачів. Після просочування якорі сушать 24 години при $t=150-160^{\circ}\text{C}$, потім покривають емаллю ГФ-92ГС і сушать 8 годин при $t=110-115^{\circ}\text{C}$.

Технічне обслуговування – для забезпечення постійної справності та готовності к використанню необхідно виконувати наступні роботи:

– технічний огляд обладнання не менш одного разу в рік;

– щоденний огляд всіх болтових з'єднань і трубопроводу;

– перевірку системи охолодження і усунення несправностей;

– перевіряти легкість обертання маховиків;

– щодня прибирати робоче місце;

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

– вести облік технічного обслуговування.

2.3 Піч електрична калориферна з самохідним візком

Типова сушильна піч А123 (рис.2.2) призначена для сушки остовів, якорів, катушок і інших деталей електричних машин в умовах депо або ремонтних заводів. Каркас сушильної печі є зварною конструкцією. Стіни каркаса зроблені подвійними і засипані теплоізоляційним матеріалом. Завантажувальний візок з амортизуючим пристроєм пересувається за допомогою механізму (привід цього механізму обслуговує одну, дві або декілька сушильних печей). У ґратах електричного калорифера вмонтовано 48 трубчастих нагрівальних елементів.

Розподільні ґрати служать для напряму повітря від циркуляційного вентилятора і всмоктуючого воздуховоду через теплообмінник в калорифер і сушильну камеру печі. На своїй дорозі в сушильну камеру повітря зустрічає підпирний металевий лист з отворами завдяки чому розподіл повітря виходить більш рівномірним за об'ємом камери. Для обмеження підйому і опускання дверей сушильної печі на рамі змонтований вимикач. Є всмоктуючі, вихлопні, і рециркуляційні воздуховоди. У патрубках всмоктуючого і рециркуляційного воздуховодів встановлені регулюючі заслінки, механічно сполучені між собою. Одночасність зміни положення заслінок здійснюється за допомогою ручного приводу. У всмоктуючому воздуховоді розташовується вентилятор підсосу.

Для обслуговування печі передбачений розподільний щит, в якому змонтовані комутаційні апарати електричної схеми (цей щит встановлюється поза просочувально-сушильним відділенням, оскільки не задовольняє вимогам вибухо-безпеки). На щиті управління змонтовані апарати управління і контрольно-регулюючий прилад. З цього щита управляють тепловим процесом печі.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Викид повітря насиченого парами в атмосферу

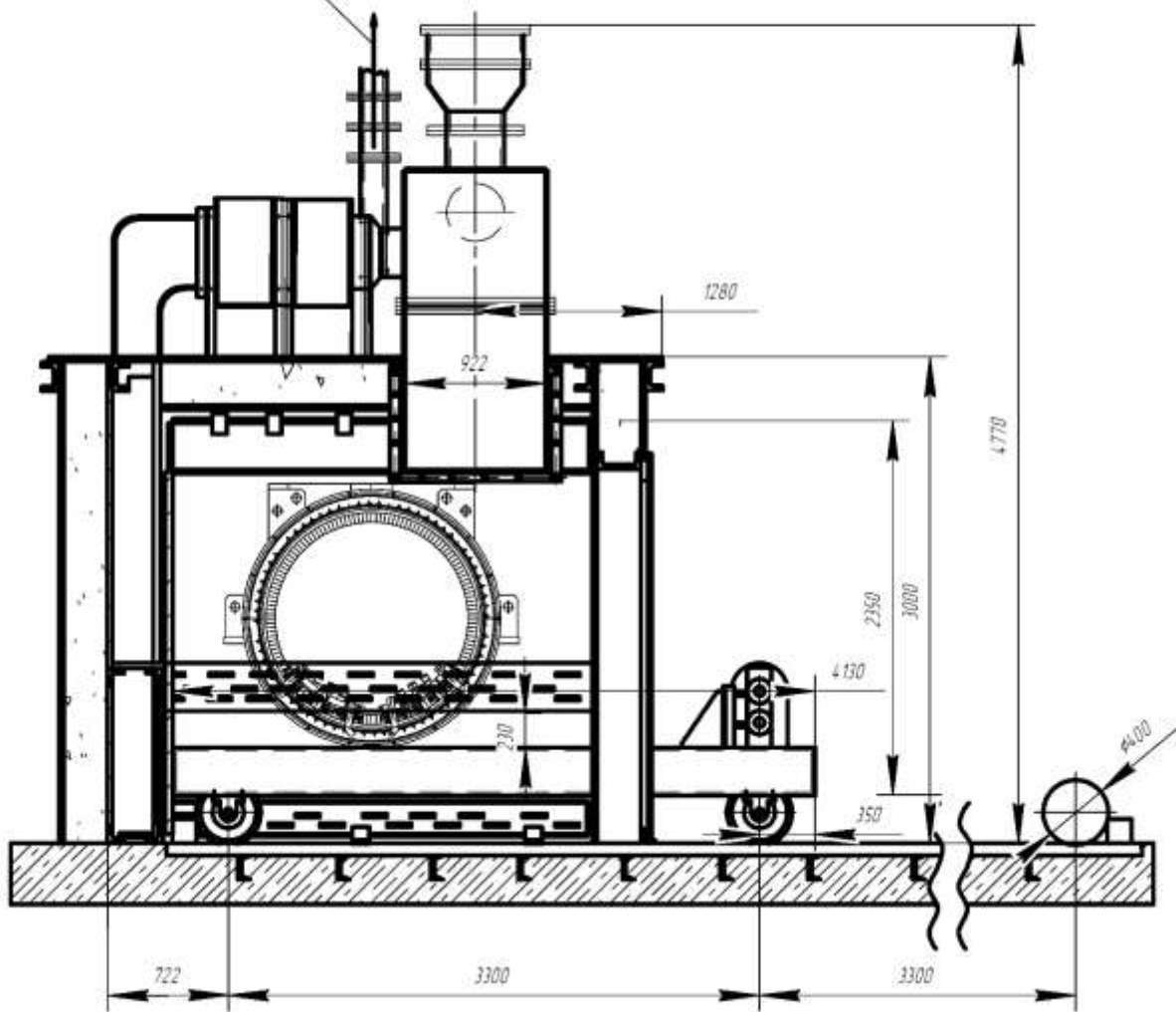


Рисунок 2.2 – Піч електрична калориферна з самохідним візком:

1 – труба; 3 – сушильна камера; 5 – привідний електродвигун; 6 - рейка

Конструкція щита дозволяє встановити його на стіні просочувального відділення біля печі. Дві кнопки управління типа КУ 123-2 призначені для управління механізмами приводу дверей і візка. Кнопки встановлюються на стійці в приводу механізму пересування. Після замикання головного рубильника В1, силового ланцюга печі включається пакетний вимикач В2, що подає напругу в ланцюг регулюючого температури, проміжне реле РП1, РП2 термометр електроконтакта ЕКГ. Після натиснення кнопки КУ1 «Пуск» включається двигун Д3 циркуляційного вентилятора. Одночасно з ним включається двигун Д4. Нагрівається повітря в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

44

електрокалорифері двома групами по 24 нагрівальних елементів. При лінійній напрузі 380В елементи обох груп з'єднанні «на зірку», при 220 В – «на трикутник». Кожна група елементів включається контакторами змінного струму К1 і К2, котушки які отримують живлення через блок-контакти магнітного пускателя ПМ2, що працює від циркуляційного вентилятора і блок-контакти проміжних реле РП1 і РП2, керованих термометром електроконтакта ЕКТ. Ланцюги живлення котушок проміжних реле РП1 і РП2 замикаються через пакетний вимикач В2 і контакти термометра ЕКТ, що підтримує задану температуру на постійному рівні. Спочатку включаються обидві групи калорифера на повну потужність 42 кВт через контактори ЕКТ і контакт проміжного реле РП1. При досягненні мінімальної межі заданої температури, РП1 група калорифера автоматично відключається з розривом контактів ЕКТ, отже, відключене реле РП1 друга група залишається вімкненою, оскільки реле РП2 ще не включене контактами ЕКТ. Досягши максимальної межі заданої температури друга група відключається з розривом контактів ЕКТ нагрівання печі завершується. При зниженні температури в межах 5°C автоматично відновлюється включення другої групи, а при зниженні температури нижче мінімальної заданою, відбувається включення нагрівальних елементів обох груп. Надалі температура підтримується автоматично періодичним включенням однієї або обох груп калорифера. В процесі роботи піднімаються і опускаються двері, пересувається завантажувальний візок в піч і назад приводними механізмами з електродвигунами Д1 і Д2 відповідної потужності. Включаються електродвигуни через відповідні реверсивні магнітні пускачі ПМ3 і ПМ4, керовані кнопками КУ2 і КУ3. Електрична схема передбачає наступні блокування в роботі вузлів печі:

- а) електродвигун приводу Д2 візка не включиться, поки двері не підняті;
- б) електродвигун Д1 дверей відключається при крайньому верхньому або крайньому нижньому положенні дверей;
- в) електрокалорифер не включається, якщо не включений електродвигун Д3 головного вентилятора, і навпаки, при зупинці електродвигуна калорифер автоматично відключається;
- г) електродвигун Д2 візка відключається в крайніх положеннях візка.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Для укочування або викочування візка з сушильної камери необхідно спочатку підняти двері (натискує кнопку «Вгору») і тримати її до підйому на потрібну висоту або автоматичної зупинки дверей. Після цього натискають кнопку «Вперед» або «Назад» візки, потім якщо привід зроблений для декількох печей, важелем зціплення механізму пересування вводять в дію кулачкову муфту приводу. Кнопку «Вперед» візки при укочуванні тримають візка, що натискує до автоматичної зупинки, після чого двері печі закриваються. При викочуванні візок відводиться назад до упору і зупиняється. Для вибору забрудненого повітря, а також для підтримки безпечної концентрації пари і зберігаються волопоглощувальної, здатності повітря в сушильній камері в патрубках воздуховодів обох вентиляторів передбачені механічно зв'язані заслінки, положення яких регулюється ручним приводом. Для зменшення теплорасіяння верх печі і вентилятор на місці монтажу обмазують асбестозурітовою змазкою на глинистому розчині товщиною не менше 100 мм. При монтажі укладається рейкова дорога для візка; випускний повітропровід виводиться з приміщення назовні вгору (для створення достатньої тяги він не повинен мати горизонтальних ділянок).

2.4 Ванна для просочування статора ГС-501

Особливу увагу потрібно приділити якості ізоляції. Саме цілісність ізоляції покращує роботу генератора, запобігає втратам магнітних потоків у обмотці статора та в полюсі ротора. Під час ремонту генератора ГС-501, потрібно просочити ротора та статора, та подальшою сушкою в електричній печі. На заводі не проводять просочування генератора ГС-501, так як немає відповідного обладнання. Пропонуємо ввести в програму ремонту дільницю просочення, обладнання, яке зображено на рисунку 2.3. У цей бак поміщається статор, лак ФЛ-98 подається насосом з резервуару в бак, тобто вижимним методом, до визначеного рівня шкали, так проходить просочування.

Для того щоб провести сушку статора, для цього потрібно помістити в сушильну піч. Сушильна піч, яку використовують на заводі не призначена для статора ГС-501. Запропонована в розділі 2.3 сушильна піч відповідає зовнішнім розмірам

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

статора генератора. Тому, що у сушильну піч яку використовують на заводі не поміщається статор генератора ГС-501.



Рисунок 2.3 – Ванна для просочування статора ГС-501

2.5 Експериментальні дослідження для визначення ефективності ультразвукового методу просочення

За рекомендаціями головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці в ряді депо просочення ізоляції якорів тягових електродвигунів (ТЕД) здійснюють за допомогою ультразвуку. Досвід експлуатації установок ультразвукового просочення в депо Пологи Придніпровської та інших депо дозволив визначити їх загальну схему і її основні елементи (рис.2.4). Це – просочувальний бак, збірник і відстійник лаку, високочастотні ультразвукові генератори, магнітострикційні перетворювачі, механізм закриття кришки бака і обертання якоря, а також гідравлічна, пневматична та водяна системи.

Крім того, існує кілька варіантів просочувальних установок. В одній з них магнітострикційні перетворювачі типу ПМС-6-22, які отримують живлення від

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

ультразвукового генератора УЗГ-2-4 потужністю 4 кВт, встановлені на просочувальному баку прямокутної форми в наступному порядку: один в середній частині по висоті бака, а інший - під його днищем.

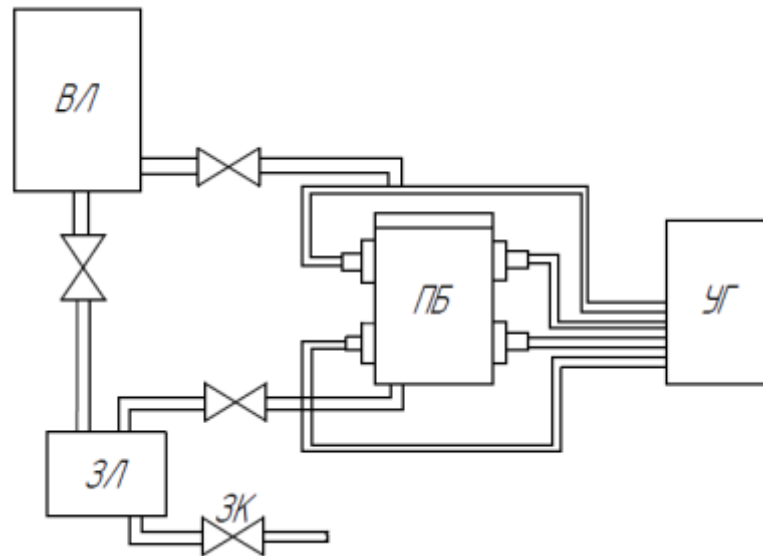


Рисунок 2.4 – Схема установки ультразвукового просочення якорів тягових електродвигунів:

УГ – ультразвуковий генератор; МП – магнітострикційні перетворювачі; ЗЛ – збірник лаку; ЗК – зливні крани; ВЛ – відстійник лаку; ПБ – просочувальний бак

В іншому варіанті просочувальний бак представляє собою автоклав циліндричної форми. Тут магнітострикційні перетворювачі типу ПМС-15А-18 розташовані на його поверхні під кутом 90° один до одного по колу бака (рис.2.5). Перетворювачі підключені до генераторів УЗГ-210 потужністю 10 кВт.

У Смелянському заводі по ремонту локомотивів просочувальний бак виконали у вигляді шестикутника. На трьох його сторонах під кутом 60° один до одного встановлені магнітострикційні перетворювачі типу ПМС-6-22. По висоті вони розташовані рівномірно. Четвертий перетворювач розташований внизу бака під кутом 45° до вертикальної осі і призначений для видалення з лаку бульбашок повітря. Просочувальний бак має кришку з пневматичним приводом. На ній розташований механізм, що забезпечує обертання якоря зі швидкістю 2 об/хв.

Високочастотні електричні коливання, які генеруються УЗГ, передається магнітострикційним перетворювачем, який перетворює їх в ультразвукові та передають безпосередньо всій масі лаку. Виникаючі коливання сприяють інтенсивному проникненню просочувального лаку в ізоляцію обмоток якорів.

Для визначення ефективності ультразвукового методу просочення були проведені експериментальні дослідження на якорях ТЕД типу ЕДТ-200Б, що пройшли капітальний ремонт в депо зі зміною обмотки. При цьому розглядали три випадки: просочення існуючим методом (занурення якоря в лак) і з застосуванням ультразвуку з тривалістю впливу 3 і 10 хвилин. Причому тривалість і температуру сушки ізоляції обмоток якорів міняли до і після просочення. Якоря просочували лаком ФЛ-98. Зазор між якорем і робочими поверхнями магнітострикційних перетворювачів ПМС-6-22 становив 5 мм. Робочу частоту ультразвукових генераторів УЗГ-2-4 встановлювали в межах 21–22 кГц.

Корпусну та міжвиткову ізоляцію випробували в окремих секціях після розбирання якорів, які пройшли просочення. Для цього секції розбивали на 5 ділянок (рис. 2.6, а): 1 і 5 – лобові, 2, 3 і 4 - пазові частини обмоток. При випробуваннях електричної міцності корпусної ізоляції використовували спеціальні електроди з латунної фольги, виготовлені за формою секцій розміром 50-70 мм. Електроди переміщали послідовно за всіма зазначеними ділянками секцій, при цьому плавно підвищували величину випробувальної напруги до пробою ізоляції на кожній ділянці.

Вони показують, що величина пробивної напруги корпусної ізоляції секцій якорів, просочених існуючим методом, дорівнює 10–15 кВ, а із застосуванням ультразвуку 14–19 кВ. Залежності розподілу величини пробивної напруги по ділянкам секцій показані на рис. 2.6, б.

Отримані результати (табл. 2.1) свідчать про те, що застосування ультразвукового методу просочення обмотки якорів ТЕД значно підвищує електричну міцність корпусної ізоляції.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

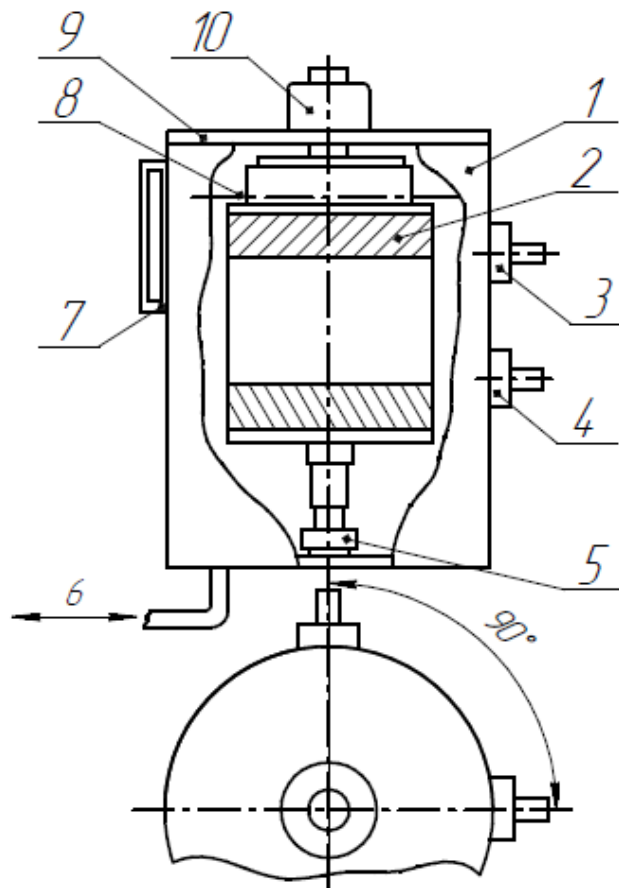


Рисунок 2.5 – Варіант установки ультразвукового просочення:

1 – просочувальний бак; 2 – якір; 3, 4 – магнітострикційні перетворювачі; 5 – підп'ятникова опора якоря; 6 – подача і злив лаку; 7 – показчик рівня лаку; 8 – рівень лаку; 9 – кришка бака; 10 – механізм обертання якоря

Таблиця 2.1. Результати випробувань корпусної ізоляції секції

Метод просочення	Положення секції в пазу сердечника якоря	Величина пробивної напруги по ділянкам, кВ				
		1	2	3	4	5
Існуючий, протягом 10 хв	Верхня	15	12	12,5	12	10,5
	Нижня	14,2	12	12	12	10,6
З застосуванням ультразвуку, протягом 3 хв	Верхня	17	15	14	15	16
	Нижня	14	14	15	14	14
З застосуванням ультразвуку, протягом 10 хв	Верхня	19	16	17	16	16,5
	Нижня	14	16	15	16	15

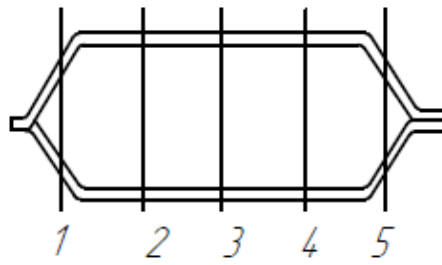
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

50

a)



б)

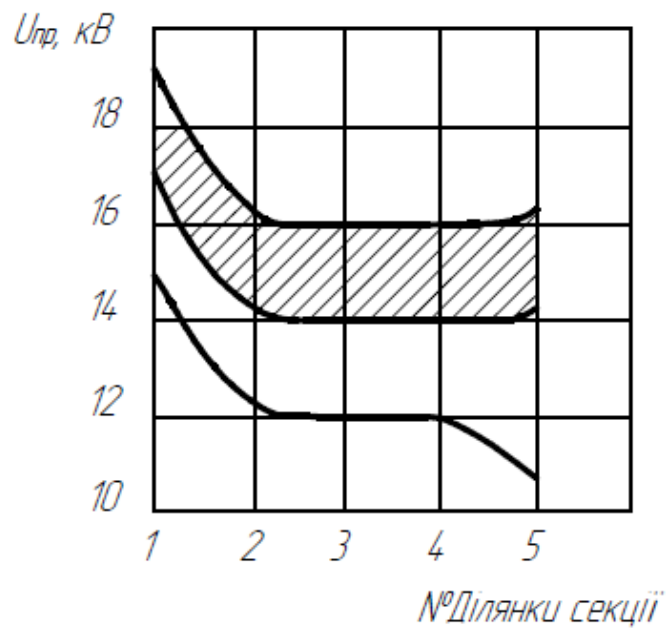


Рисунок 2.6 – Випробувальна секція (а) і залежності розподілу пробивної напруги корпусної ізоляції по ділянкам (б):

1 – ультразвуковий метод; 2 – існуючий метод

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

51

3 УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМ ТА МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Складні умови експлуатації, граничне виконання, вимоги до високої надійності для виконання умов безпеки руху і своєчасної доставки пасажирів і вантажів, необхідна стабільність та ідентичність характеристик потребують досконалої системи контролю якості й випробувань на всіх етапах створення тягових електричних машин. Правильність результатів випробувань і їх зіставлення досягається діючою державною системою метрологічного забезпечення. Оскільки потужність сучасних тягових двигунів уже близька до 1000 кВт і навіть перевищує це значення, актуальним є пошук схем і методів випробувань, які б дозволили скоротити втрати електроенергії при проведенні випробувань [5].

Згідно з ГОСТ 2582-81 тягові електричні машини проходять такі види випробувань.

– *Кваліфікаційні випробування.* Їх проводять при створенні електричних машин нових типів, а також при освоєнні виробництва новим виробником. Ці випробування різноманітні й всебічні, дозволяють визначити абсолютно всі параметри і характеристики нової машини, з'ясувати стійкість її роботи в усталених і перехідних режимах.

– *Приймально-здавальні випробування.* Ці випробування проходить кожна електрична машина. У ході їх проведення з'ясовують, чи придатна дана машина після виготовлення або ремонту для експлуатації, чи відповідають її параметри і характеристики паспортним даним.

– *Періодичні випробування.* Їх проводять не рідше одного разу в два роки і, за деяким винятком, вони повторюють програму кваліфікаційних випробувань. Вони призначені для підтвердження, що в процесі виробництва машина зберегла свої параметри і має потрібні якості.

– *Типові випробування,* які проводять за програмою кваліфікаційних випробувань, якщо в конструкцію машини або технологію її виготовлення внесені зміни. Очевидно, з цієї програми можна виключити окремі пункти, якщо характер

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

внесених змін не потребує виконання повної програми. Випробування на віброміцність виконують на одному зразку.

– *Ресурсні випробування* здійснюються з метою перевірки надійності та оцінки ресурсу працездатності машини. Випробування проводять на машинах встановлювальної серії, а також у випадках внесення змін у конструкцію, технологію і матеріали, що впливають на ресурс. У ході цих випробувань визначається ресурс вузлів і деталей до їх відновного ремонту, а також оцінюється віброміцність машин.

Програми всіх видів випробувань, їх склад і методи проведення детально викладені в ГОСТ 2582-81.

3.1 Удосконалення випробування тягових генераторів

3.1.1 Випробування генераторів постійного струму методом холостого ходу та короткого замикання

Випробування тягових генераторів тепловозів робиться після заводського ремонту з метою перевірки відповідності їх вимогам стандартів, відомчим технічним умовам і правилам ремонту електричних машин тепловозів.

Одною з технологічних задач ремонту тягових генераторів являється їх діагностування: визначення стану ізоляції і об'єму ремонту, перевірка роботи підшипників і колекторно-щіткового вузла, проведення навантажувальних іспитів і зняття характеристик.

Випробування тягових генераторів проводиться на стенді (рис 3.1). Конструкція стенду і його електрична схема передбачає проведення приймально-здавальних іспитів в повному обсязі, передбачених технологічною інструкцією [6,7].

Іспитовий стенд складається із двох тягових генераторів ГП-311Б, встановлених на фундаментній рамі і з'єднаних між собою загальною опорою. При випробуваннях тягових генераторів TD-802 і ГП-300Б маневрових тепловозів ЧМЭЗ і ТЭМ2, застосовуються спеціальні перехідні фланці й додаткові опорні пристрої.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



Рисунок 3.1 – Стенд для випробування генераторів

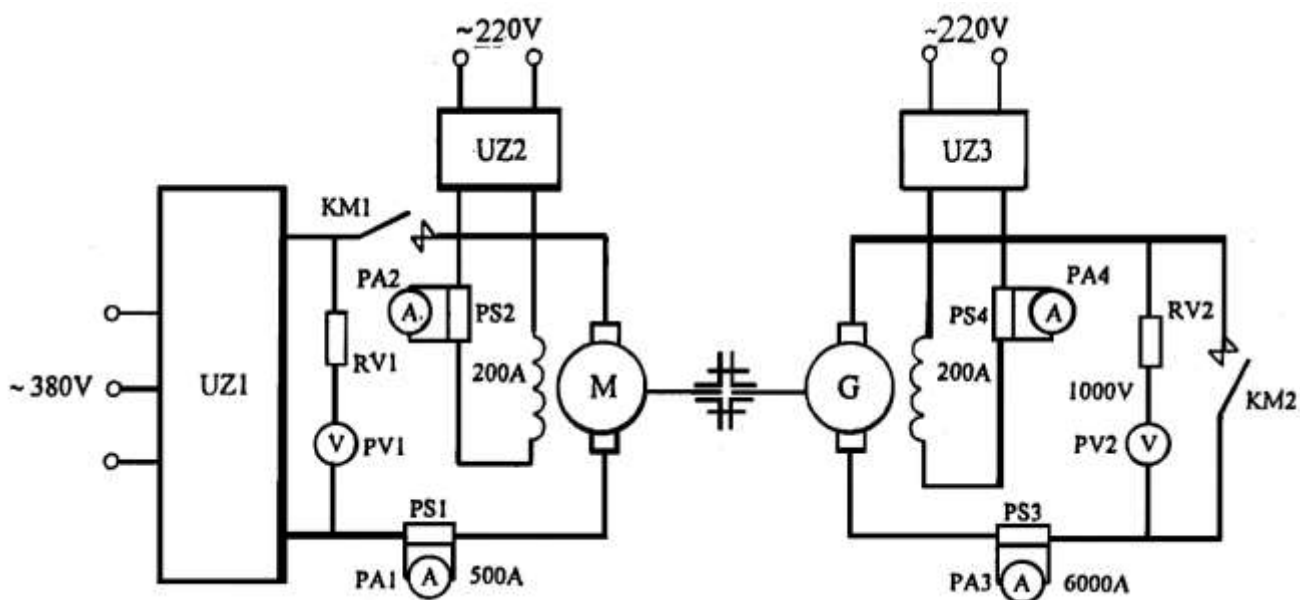


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема стенду

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

54

Принципова електрична схема стенду (рис. 3.2) забезпечує проведення випробування тягових генераторів ГП-311Б, TD-802, ГП-300Б на холостому ході (х.х.) й у режимі короткого замикання (к.з.). Один з генераторів М працює у режимі електродвигуна при живленні від мережі 380 В через силовий трифазний мостовий випрямляч UZ1, а інший G – у режимі генератора. Регулювання струму збудження виробляється тиристорними випрямлячами UZ2, UZ3, максимальний вихідний струм яких дорівнює 200 А. Споживана з мережі потужність при стендових випробуваннях генераторів становить 200...300 кВт. Частота обертання якорів 850 і 750 хв⁻¹ відповідно для генераторів ГП-311Б і TD-802. Пускові обмотки машин не використовуються. До складу стенду входять силові комутаційні апарати і пульт управління з контрольно-вимірювальними приладами.

Програмою приймально-здавальних випробувань передбачена перевірка характеристики холостого ходу. Максимальна величина ЕРС генераторів: 775 В (ГП-311Б) і 650 В (TD-802) при токах збудження 140...150 А. Випробування на нагрівання машин виконуються протягом однієї години методом короткого замикання [9]. Токи якорів при навантажувальних випробуваннях рівні 4320 А (ГП-311Б) і 2350 А (TD-802) при токах збудження 5...35 А. Перевірку комутації генераторів ГП-311Б і TD-802 проводять в двох режимах: по струму (6600 і 3000 А, 1 хв, метод к.з.) і напрузі (775 і 650 В, 5 хв, метод х.х.).

Температура нагріву обмоток тягових генераторів визначається за формулою [8]:

$$t_{\Gamma} = (R_{\Gamma}/R_{\chi}) \cdot (235 + t_{\chi}) - 235$$

де R_{Γ}, R_{χ} – опір обмоток в нагрітому і холодному станах. Ом;

t_{χ} – температура навколишнього середовища, °С.

Перевищення температури обмоток генератора над температурою навколишнього середовища дорівнює $T = t_{\Gamma} - t_{\chi}$ становить 110...180°С в залежності від класу нагрівостійкості ізоляції машин.

При випробуваннях вимірюють опір обмоток в холодному і нагрітому станах машин, обчислюють їх відношення, які знаходяться в межах 1,15...1,60. Потім за

графіками (рис. 3.3) визначають значення температури нагрівання обмоток t_T щодо температури навколишнього середовища в межах $t = 16 \dots 30^\circ\text{C}$ з кроком 2°C .

Отримані перевищення температури T заносять в протокол випробувань. Представлені графіки температур нагрівання обмоток рекомендуються для практичного застосування при заводських випробуваннях тягових генераторів.

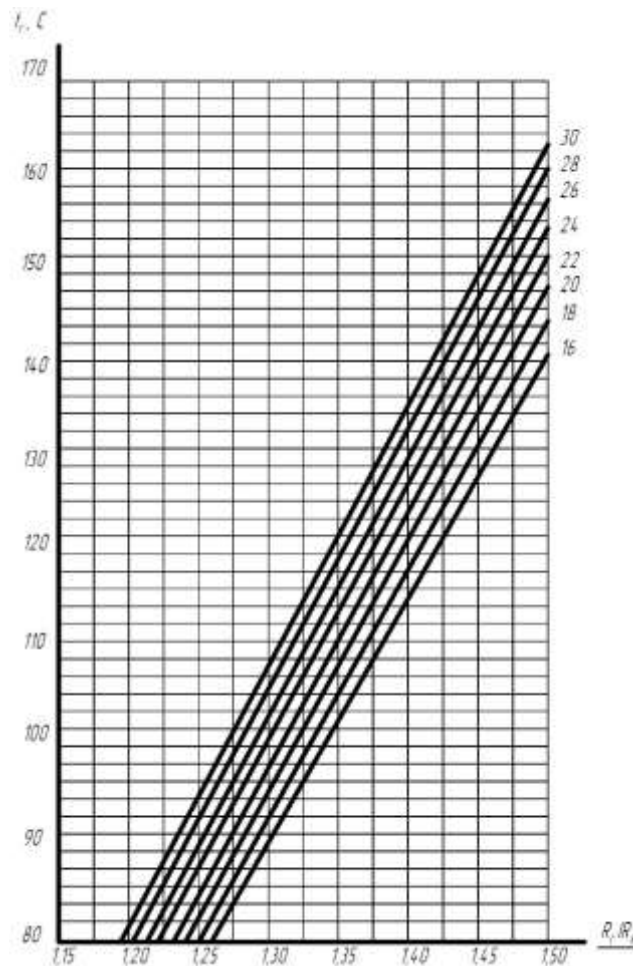


Рисунок 3.3 – Графік нагріву обмотки електричних машин

В подальшому виникла необхідність модернізації вказаного стенду з метою проведення випробувань тягових синхронних генераторів ГС-501А потужністю 2800 кВт тепловозів 2ТЭ116.

Принципова електрична схема стенду забезпечує проведення випробування вказаних тягових генераторів постійного та змінного струму на холостому ході (Х.Х.) та в режимі короткого замикання (К.З.) Один з генераторів ГП-311Б (М)

працює у режимі електродвигуна, а другий ГП-311Б (Г) у режимі генератора. На рисунку 3.4 зображено тяговий генератор ГС-501А, опір кріплення якого менше висоти для забезпечення співвісності загальної опорною муфтою.

Регулювання частоти обертання тягових генераторів і параметрів режимів випробування досягається за допомогою трифазних керованих випрямлячів змінюючи струм обмоток якоря і незалежних обмоток збудження.

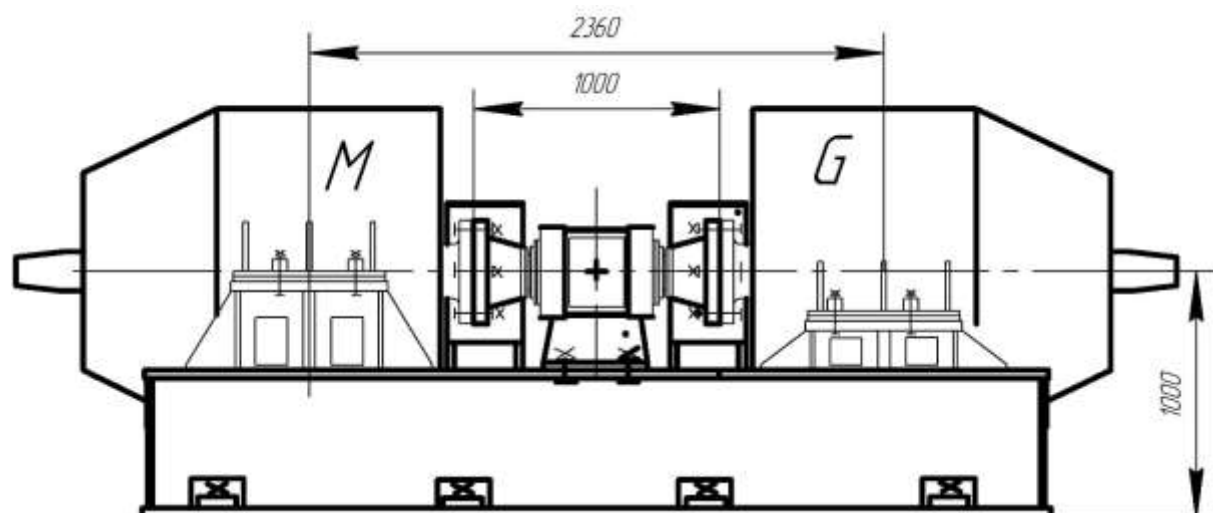


Рисунок 3.4 – Конструкція випробувального стенда тягових генераторів постійного та змінного струму тепловозів

Параметри випробування тягового генератора ГС-501А наступні: напруга холостого ходу 600 В, частота обертання ротора 1000 об/хв, режим навантаження при короткому замиканні по струму $2 \cdot 2700$ А з короточасним навантаженням по струму 3420 А. Для цього встановлено пульт з контрольно-вимірювальними приладами до яких входять амперметри А1–А6, вольтметри V1–V2, що дозволяють вимірювати струм та напругу по фазам тягового синхронного генератора. В електричній схемі встановлені шість вимірювальних трансформаторів струму типу ТПШ-10УВ 5000/5А для можливої перевірки рівномірного розподілу струму по фазах тягового синхронного генератора при навантаженні (режим К.З.). Випробувальні характеристики холостого ходу та короткого замикання тягового генератора показані на рисунку 3.5.

										Арк.
										57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.190069.000.02МР.ПЗ					

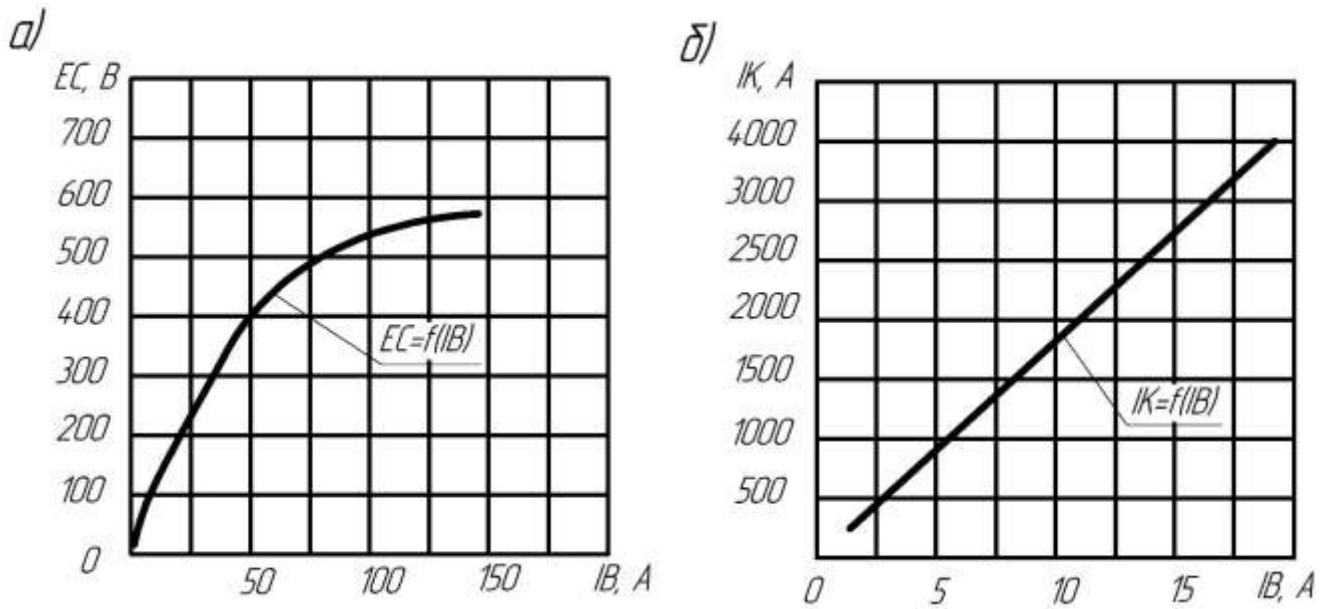


Рисунок 3.5 – Характеристики холостого ходу і короткого замикання тягового синхронного генератора ГС-501А

Виконавча електрична схема іспитового стенду (рис. 3.6) містить схему силових кіл, кіл збудження й керування. Основу силового кола становлять якорі генераторів Г1-Г2, електромагнітний контактор К7 й електропневматичні контактори КП1-КП4.

Силовий трифазний мостовий випрямляч зі східчастим регулюванням випрямленої напруги містить діоди Д1-Д6, контактори К1-К6, пусковий реостат Рп. Перемикання контакторів К1-К6 виробляються контролером керування. Позиції тривалої роботи 5 і 11. При цьому реалізується схема випрямляча: трифазна з нульовою точкою ($U_d = 1,17U_{\phi}$) і трифазна мостова ($U_d = 2,34U_{\phi}$) при закороченому Рп контактором К6. Діапазон регулювання напруги випрямляча, при $U_{\phi} = 220$ В, становить від $U_d = 0,45 U_{\phi} = 99$ В до $U_d = 2,34 U_{\phi} = 514$ В. Обмеження по живлюючій мережі: максимальний випрямлений струм $I_d = 300$ А, максимальна споживана потужність 150 кВт.

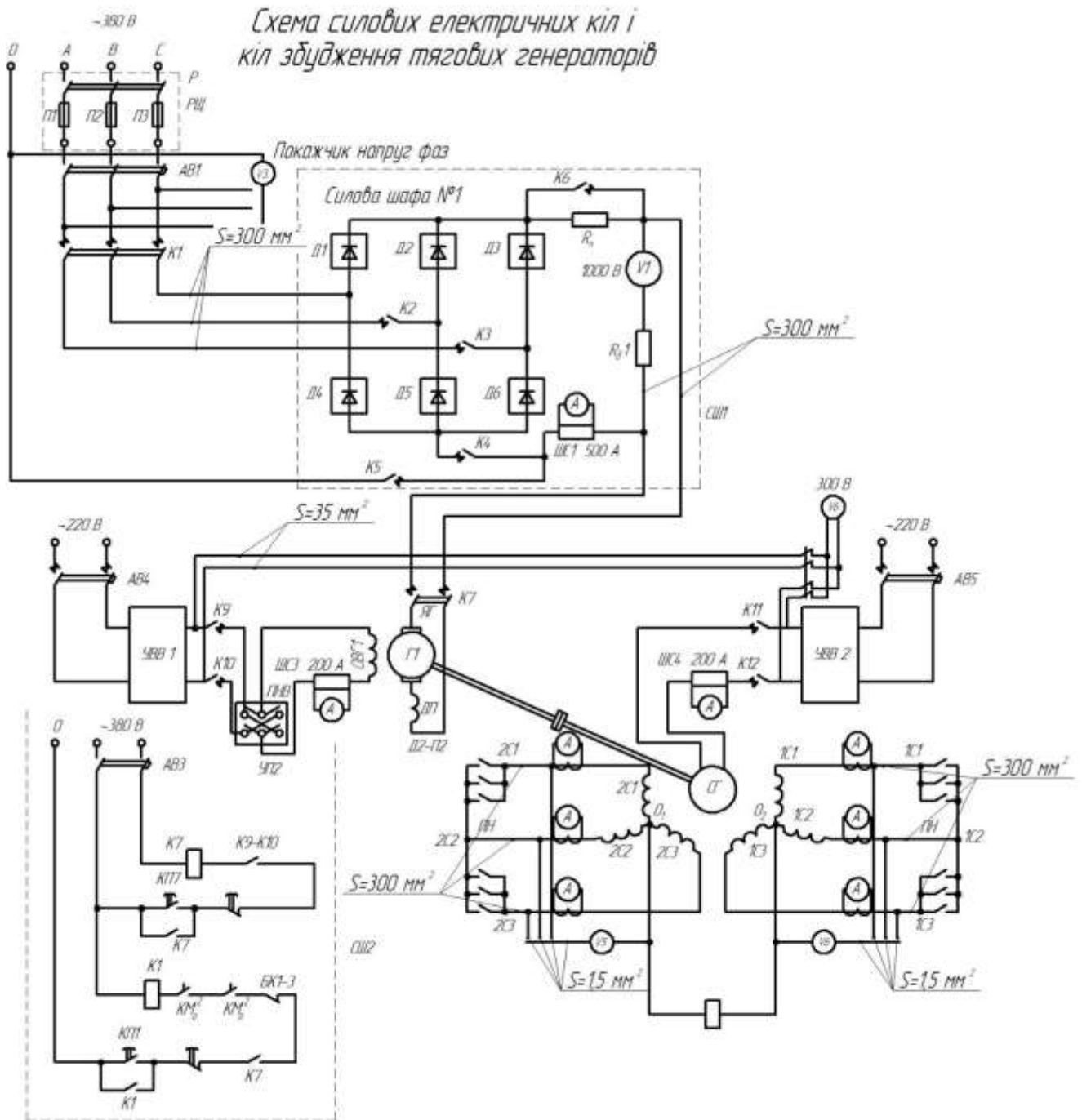


Рисунок 3.6 – Виконавча електрична схема іспитового стенду

Регулювання збудження тягових генераторів виконується однофазними керованими випрямлячами УВВ1-УВВ2. Перший випрямляч УВВ1 регулює струм збудження приводного електродвигуна (якір Д1, контактор К7), а другий УВВ2 - регулює струм збудження випробуваного генератора Г2 на холостому ході й у режимі короткого замикання (контактори КП1-КП4 замкнуті). Керовані випрямлячі збудження розраховані на максимальний вихідний струм 200 А. Випробування на

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

59

нагрівання випробуваного тягового генератора Г2 виконується протягом однієї години методом короткого замикання при номінальній частоті обертання. Пускова обмотка при цьому не використовується. Кола навантаження утворюються при включенні контакторів КП1–КП4. Струми якорів дорівнюють 4320 А (ГП-311Б) і 2350 А (ТД-802) при струмах збудження 5...35 А.

Захист силового трифазного випрямляча зі східчастим регулюванням напруги виконується автоматичним вимикачем АВ1 і запобіжниками П1–П3, а керування випрямлячів порушення УВВ1–УВВ2 – автоматичними вимикачами АВ4–АВ5, а кіл керування – АВ2, АВ3, АВ6.

Силова схема тиристорного випрямляча УВВ1-УВВ2 (рис. 3.7) побудована на базі однофазного мостового несиметричного керованого випрямляча типу БВК-1012 тепловоза 2ТЭ116. Схема випрямляча містить у двох плечах моста тиристори Т1-Т4 типа ТЧИ-100-5, включені по двох у паралель, а у два інші діоди Д1–Д2 типу ВЧ-160-5. Захист тиристорів від перенапруг виконуються RC колами.

Основними функціональними елементами схеми керування (рис. 3.8) є:

- трансформатор Тр призначений для одержання синхронізуючого сигналу, погодженого з живлячою напругою (рис. 3.9, а) тимчасової діаграми напруг елементів схеми керування;
- діоди V1, V2 служать для випрямлення синхронізуючого сигналу;
- резистори R1, R2 обмежують вихідний струм синхронізуючого трансформатора Тр;
- стабілітрони V3, V4 для обмеження амплітуди випрямленого напруги трансформатора Тр;

					<i>0032.190069.000.02MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

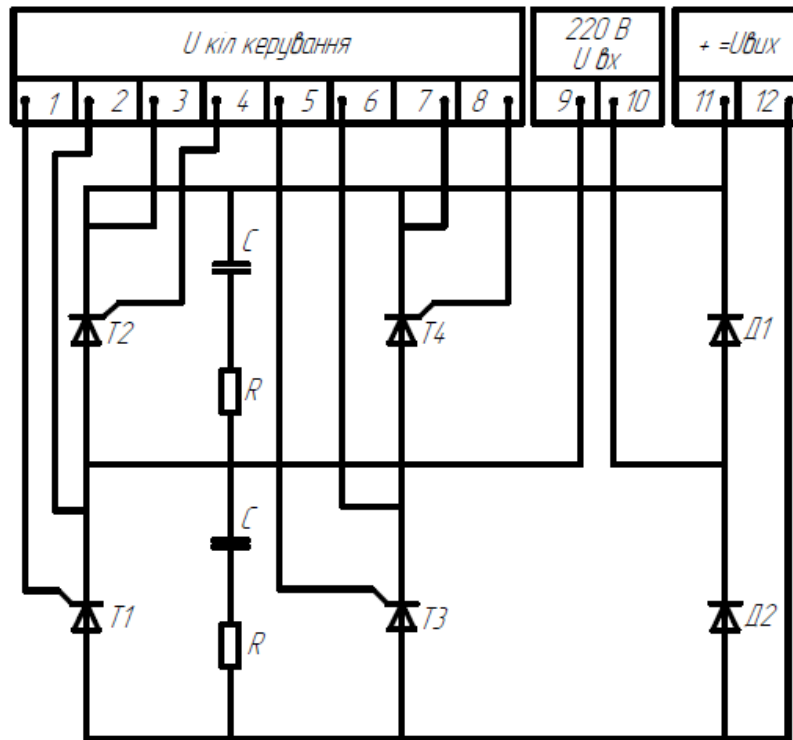


Рисунок 3.7– Схема керованого випрямляча збудження УВВ1-2

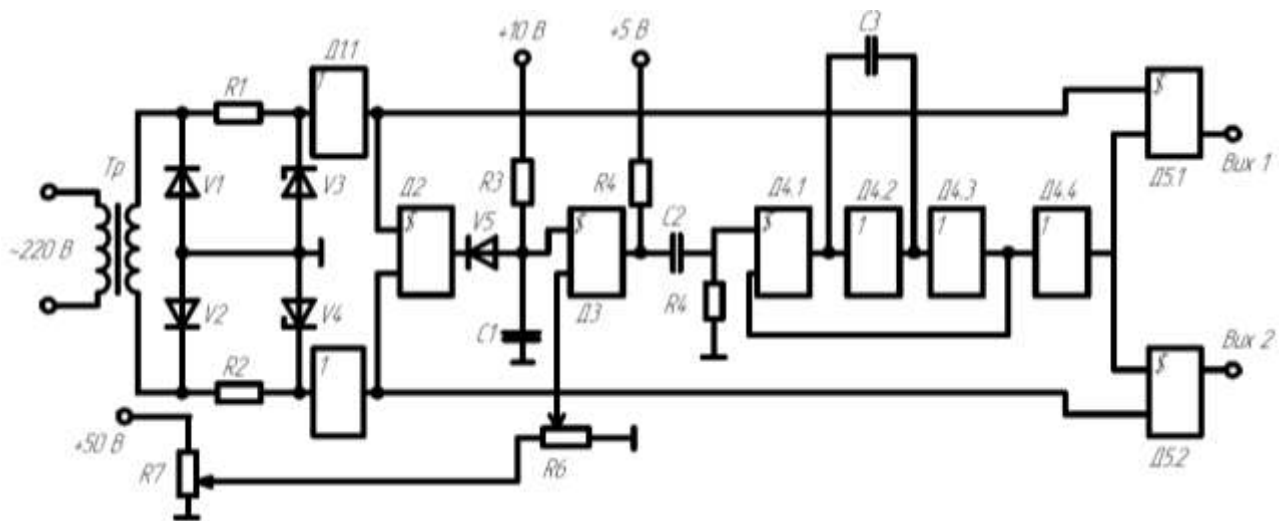


Рисунок 3.8 – Схема керування випрямляча збудження УВВ1-2

– ключовий елемент Д1.1 призначений для нормалізації синхроімпульсу, що погодить роботу каналу керування (рис. 3.9, б) силовими тиристорами (Т1, Т3), з полярністю випрямленої напруги U1.3 (рис. 3.9, л);

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

61

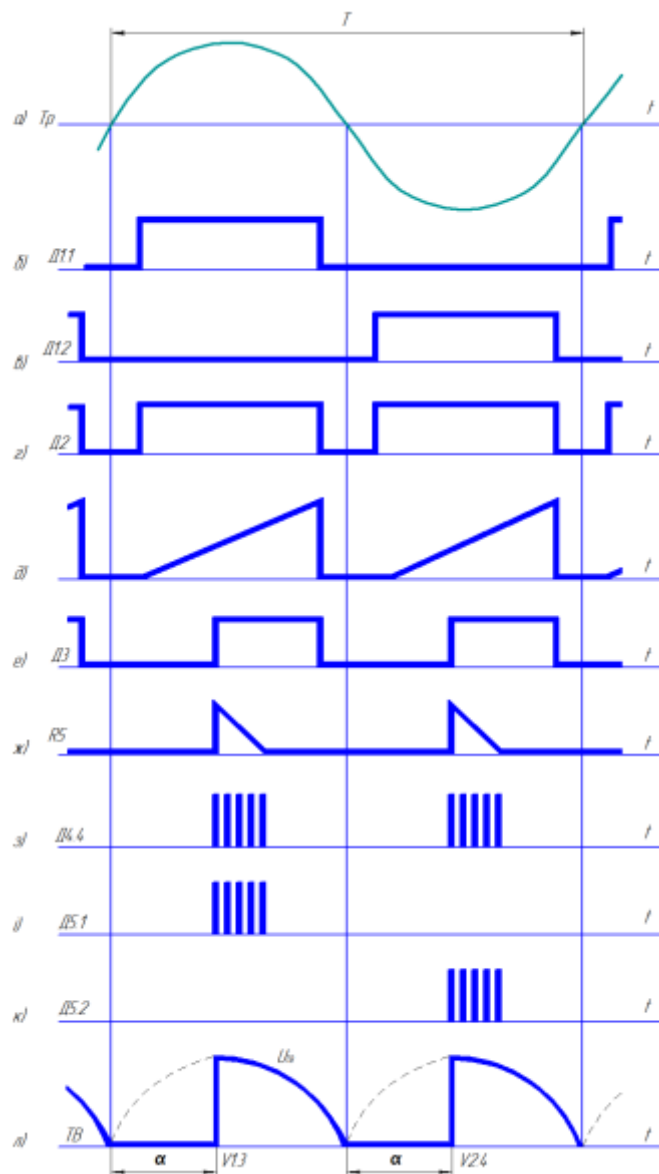


Рисунок 3.9 – Часові діаграми напруг елементів схеми керованого випрямляча збудження УВВ1-2

– ключовий елемент Д1.2 для одержання сигналу (рис. 3.9, в), що погодить роботу каналу керування силовими тиристорами (Т2, Т4) з полярністю випрямленої напруги $U_{2.4}$ (рис. 3.9, л);

– ключовий елемент Д2 служить для виробітку синхронізуючих сигналів, що погодять у часі пилоподібна напруга (рис. 3.9, д) конденсатора С1 із синусоїдальною напругою, що живить випрямляч;

– компаратор Д3 призначений для порівняння пилоподібної напруги конденсатора С1 з керуючою постійною напругою U_y (рис. 3.9, д), що знімається з

резистора R6, а регулюється за допомогою резистора R7, і виробітку прямокутних імпульсів (рис. 3.9, е), ширина яких визначається моментом збігу по величині керуючої напруги U_u з пилкоподібною напругою U_{ci} (вертикальний принцип керування);

– вихідний логічний елемент генератора Д4.4 призначений для формування послідовності пачок високочастотних імпульсів керування (порядку 10 кГц, рис. 3.9, з);

– логічні елементи Д5.1, Д5.2 призначені для розподілу пачок імпульсів по двох відповідних погоджених каналах керування силовими тиристорами V1,3; V2,4 (рис. 3.9, і, к, виходи 1,2).

Представлена схема формувачів імпульсів керування тиристорами T1, T3 і T2, T4 (рис. 3.10), випрямлячі (рис. 3.7). Дана схема здійснює потенційну розв'язку схеми керування (рис. 3.8) від силового ланцюга випрямляча (рис. 3.7). Досягається це за допомогою поділяючих імпульсних трансформаторів ТИ1-ТИ3, ТИ2-ТИ4. Посилення керуючих імпульсів (рис. 3.10, виходи 1,2) виробляється за допомогою транзисторних підсилювачів V1-V3; V2-V4 (рис. 3.10, вхід 1,2).

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

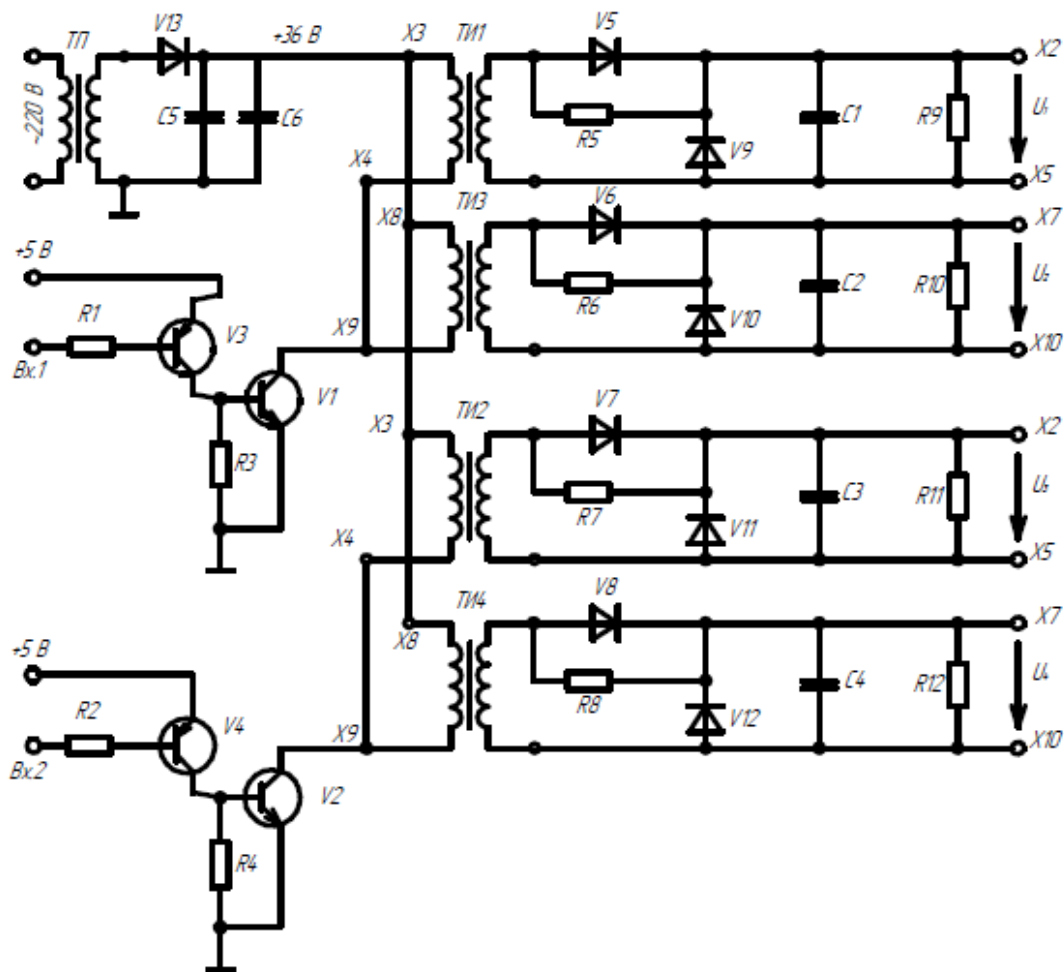


Рисунок 3.10 – Схема формувачів імпульсів керування тиристорів УВВ1-2

3.1.2 Випробування тягових генераторів по методу взаємного навантаження

Однією з технологічних завдань ремонту електричних машин магістральних тепловозів ТЭ10 і ЧМЭЗ є діагностування тягових генераторів. При цьому визначається стан ізоляції й обсяг ремонту, перевіряється робота підшипників і колекторно-щіткового вузла, проводяться навантажувальні випробування. Для випробування тягових генераторів ГП-311Б і ТД-802 потужністю 2000 і 885 кВт розроблений стенд [10]. Даний стенд складається із двох тягових генераторів ГП-311Б, установлених на фундаментній рамі і з'єднаних фланцями між собою загальною опорою. При випробуваннях тягових генераторів ТД-802, що відрізняються конструкцією якоря й розмірами кістяка, застосовуються спеціальний перехідний фланець і додаткові опорні плити. Цим досягається можливість постановки тягового генератора ТД-802 на іспитовий стенд, розрахований під генератори ГП-311Б, необхідна

міцність і співвісність загальної опори. Електрична схема стенда забезпечує проведення випробувань тягових генераторів на холостому ході й у режимі короткого замикання. Одна з машин працює в режимі електродвигуна при живленні від мережі 380 Вт через силовий трифазний мостовий тиристорний випрямляч, а інша - у режимі генератора. Споживана з мережі потужність при стендових випробуваннях становить двісті - триста кВт. Частота обертання якорів 850 і 750 об/хв відповідно для генераторів ГП-311Б і ТД-802. Випробування на нагрівання машин виконуються протягом однієї години методом короткого замикання [11]. Струми якорів при цьому рівні 4320А (ГП-311Б) і 2350А (ТД-802) при струмах порушення 5...35А.

З метою подальшого вдосконалювання стенда пропонується конструкція й електрична схема випробування тягових генераторів по методу взаємного навантаження з покриттям сумарних втрат механічним способом. Представлена електро-механічна система (рис.3.11), що містить на загальному валу приводний тяговий електродвигун і два тягових генератори, що утворюють контур взаємного навантаження.

Стенди взаємного навантаження генераторів вимагають більших потужностей установлюваного встаткування й електропостачання на 6 кВт. Запропонована конструкція іспитового стенда (рис.3.11) має відмінні риси. Приводний тяговий електродвигун (поз. 1) через муфту з'єднаний з тяговими генераторами ГП-311Б (поз. 2,4), якорі яких об'єднані загальною опорою (поз. 3). Генератори й приводний електродвигун розташовані на загальній фундаментній рамі (поз. 5), утворюючи єдину систему машин. Електричні машини (поз. 1 і 2) перебувають на стенді постійно, а тяговий генератор (поз. 4) є змінним, випробуваним (ГП-311Б або ТД-802). Загальна опора (поз. 3) складається з корпусу, вала, фланців, дворядних сферичних підшипників, лабіринтових кілець і кришок. Даний вузол виконаний на підшипниках ковзання.

					<i>0032.190069.000.02MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

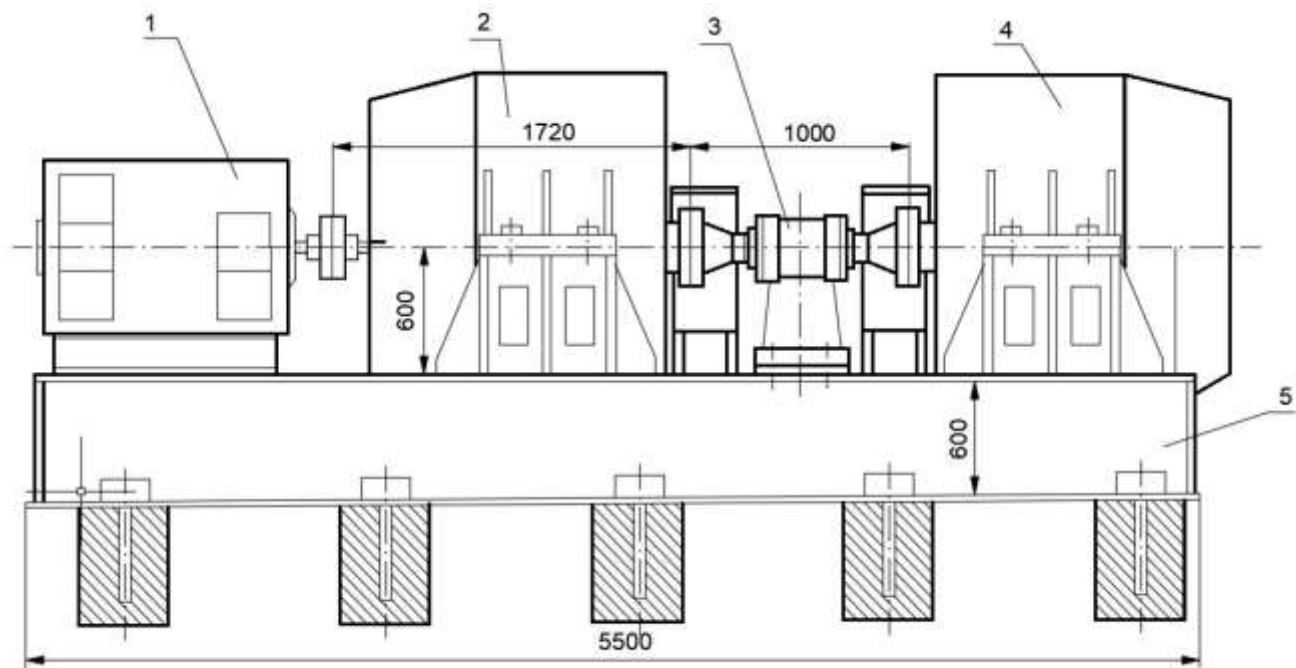


Рисунок 3.11 – Стенд випробувань тягових генераторів ГП-311Б

Відмінність електричної схеми (рис. 3.12) запропонованого варіанту стенда випробування тягових генераторів полягає в тім, що живлення приводного електродвигуна М здійснюється від мережі 380 Вт через трифазний керований випрямляч UZ1 без силового трансформатора. Мостова схема тиристорного випрямляча забезпечує регулювання вихідної напруги в межах $U_d=0...514$ В при $U_f=220$ В. Регулювання струму збудження тягових генераторів G1 і G2 виробляється тиристорними випрямлячами UZ2 і UZ3, максимальний вихідний струм яких дорівнює 200 А. При рівності ЕРС машини Г1, Г2 і номінальній частоті обертання включається контактор КМ2, утворюючи контур взаємного навантаження.

Подальшим регулюванням збудження один з генераторів Г1 переводиться в режим електродвигуна, а інший Г2 - генератора. Даний метод дозволяє реалізовувати при випробуваннях на стенді повну потужність тягових генераторів у тривалому режимі роботи. Номінальні параметри тягових генераторів, реалізовані при стендових випробуваннях:

ГП-311Б - $U=463$ В, $I=4320$ А, $P=2000$ кВт;

TD-802 - $U=377$ В, $I=2350$ А, $P=885$ кВт.

$P_{щ}$ – тиск на щітку ($P_{щ} = 0,02...0,03 \text{ МПа}$),

$f_{тр} = 0,15...0,17$ – коефіцієнт тертя щіток по колектору;

V_k – окружна швидкість колектора, м/с.

При $\sum S_{щ} = 800 \text{ см}^2$, $f_{тр} = 0,17$ та окружної швидкості $V_k = 37,8 \text{ м/с}$,
 $\Delta P_{тщ} = 10282 \text{ Вт}$

Втрати в сталі якоря, Вт,

$$\Delta P_{см} = 2,7 \cdot (G_z \cdot W_z + G_{я} \cdot W_{я}),$$

де G_z і $G_{я}$ – маса сталі зубців та сердечника якоря, кг,

$W_z \cdot W_{я}$ – питомі втрати в зубцях і сердечнику якоря, Вт/кг.

Для генератора ГП-311Б: маса сталі $G_z=230$ кг та $G_{я}=2104$ кг, питомі втрати $W_z=21,6$ Вт/кг та $W_{я}=1,98$ Вт/кг. При частоті перемагнічування $f = 70,8$ Гц втрати в сталі $\Delta P_{см} = 24662 \text{ Вт}$.

Додаткові втрати, Вт,

$$\Delta P_{доб} = 0,01 \cdot P_2 \cdot 10^3, \quad (3.5)$$

де P_2 - потужність генератора, кВт.

Для заданої номінальної потужності генератора

$$\Delta P_{доб} = 20000 \text{ Вт}$$

Втрати в підшипниках і на вентиляцію складають

$$\Delta P_{подш.вент} = 12340 \text{ Вт}$$

Сумарні втрати генератора ГП-311Б в початковому режимі

$$\sum \Delta P = 52615 + 8640 + 10282 + 24662 + 20000 + 12340 = 128539 \text{ Вт}.$$

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Оскільки в контурі випробування тягових генераторів за методом взаємної навантаження містяться два генератора ГП-311Б, з'єднані між собою механічно та електрично, сумарні втрати подвоюються і складають $2\sum\Delta P=257078$ Вт. Для покриття втрат в навантаженому контурі вибираємо приводний електродвигун ЕД-118 потужністю 305 кВт [14]. Приводний електродвигун ЕД-118 стенду випробування тягових генераторів ГП-311Б підходить і для випробування тягових генераторів ТД- 802 меншої потужності.

Параметри тиристорів трифазного керованого випрямляча UZ1 визначаються потужністю приводного тягового електродвигуна ЕД-118. Для схеми перетворювача UZ1 приймаємо $I_d = 720$ А, $U_{d0} = 514$ В при $\alpha_p=0$. Середнє значення струму вентиля $I_{в.ср} = I_d / 3 = 240$ А, максимальне значення зворотної напруги $U_{обр.макс} = 1,05 \cdot U_{d0} = 540$ В [4]. Вибираємо тиристири Т133-320-6 з охолоджувачами 0143-150. Індуктивність згладжує реактора ланцюга приводного електродвигуна $L_p = 7,5$ мГн.

3.2 Удосконалення випробувань тягових електродвигунів

При проведенні випробувань двигуна постійного струму (рис 3.13 і 3.14) його живлення здійснюється або від мережі постійного струму, або від керованого випрямляча. Навантаженням випробовуваного двигуна електромашинне гальмо, яке використовує генератор постійного струму з незалежним збудженням. До генератора постійного струму ГПТ підключений якір двигуна постійного струму ДПТ з незалежним збудженням по так званій схемі «генератор-двигун», при використанні якої частота обертання двигуна постійного струму ДПТ може підтримуватися постійною при зміні частоти обертання випробовуваного двигуна в широких межах. Двигун ДПТ приводить в обертання синхронний генератор СГ, який віддає частину споживаної при випробуванні енергії в мережу. Регулювання навантаження випробовуваного двигуна здійснюється регулюванням струму збудження генератора ГПТ, що приводить до збільшення моменту двигуна ДПТ і потужності синхронного генератора СГ, що віддається в мережу.

						0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			70



Рисунок 3.13 – Випробування на стенді тягових електродвигунів



Рисунок 3.14 – Пульт управління випробувальним стендом тягових електродвигунів

При випробуваннях по методу взаємного навантаження дві електричні машини з'єднуються між собою механічно і електрично і підключаються до зовнішнього джерела енергії. Одна з машин працює в режимі генератора і віддає всю енергію машині, яка працює в режимі двигуна і витрачає всю свою механічну енергію на обертання першої машини (рис. 3.15).

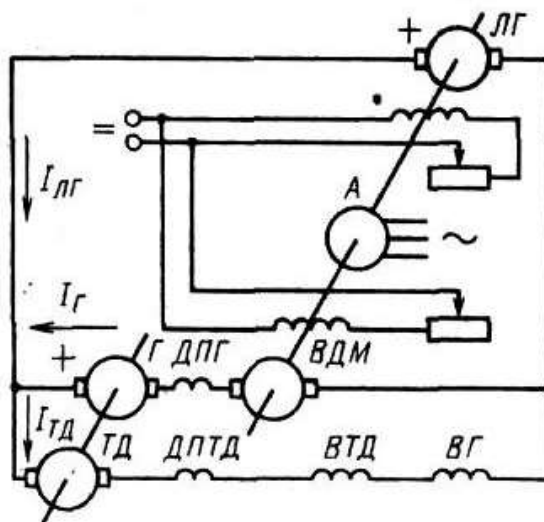


Рисунок 3.15 – Схема стенду взаємного навантаження

Витрата енергії при випробуванні по методу взаємного навантаження визначається сумарними втратами в обох випробовуваних машинах. Компенсація цих втрат здійснюється від зовнішнього джерела електричної або механічної енергії або від обох джерел одночасно. Якщо врахувати, що ККД електричної машини складає близько 90%, то опиниться, що за допомогою джерела обмеженої потужності (10-20% потужностей однієї випробовуваної машини) можна випробовувати дві крупні електричні машини одночасно. Остання обставина є важливою гідністю випробування електричних машин методом взаємного навантаження, оскільки він дозволяє суттєво зменшити витрати енергії на випробування.

3.2.1 Стенд випробування ТЕД методом взаємного навантаження

При випробуванні ТЕД по методу взаємного навантаження на спеціальному стенді (рис 3.16) встановлюють дві однотипні тягові машини, одна з яких працює в режимі двигуна та приводить в обертання другу, яка працює в режимі генератора і живить першу машину. Від лінійного генератора і вольтодобавочної машини споживається енергія, рівна сумі усіх витрат у випробувальному двигуні і навантажувальному генераторі.

Потужність, спожита із мережі, складає при цьому 20 - 30% годинної витрати електричної енергії на випробування.

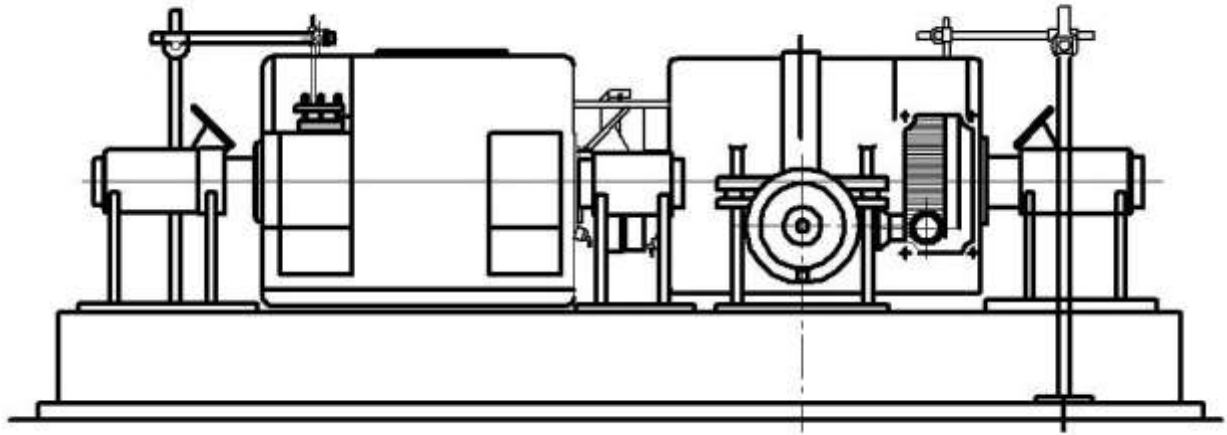


Рисунок 3.16 – Стенд взаємного навантаження тягових електричних двигунів:

1 – тягові електричні двигуни; 2 – плита; 3 – підставка; 4 – станина

Принципова схема випробування двигуна по методу взаємного навантаження з лінійним генератором і вольтодобавочною машиною представлена на (рис 3.17).

ЛГ, ВДМ, М₃, М₄ приводяться в обертання асинхронними двигунами, які споживають енергію змінного струму із мережі.

Обмотки збудження ЛГ та ВДМ отримують живлення від своїх збудників М₃ і М₄. Напругу на затискач яких можна регулювати резисторами R₁ і R₂. Напруга лінійного генератора і вольтодобавочної машини вимірюється вольтметрами PV₁ і PV₂.

Струм лінійного генератора, вольтодобавочної машини, тягового двигуна і шунтуючому колі вимірюються відповідно амперметрами PA₁; PA₂; PA₃; PA₄.

М₁ГП і М₂ГП – обмотки збудження випробувальних машин. Шунтуючий обмотку збудження двигуна опір R_ш включається контактором ОВ.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

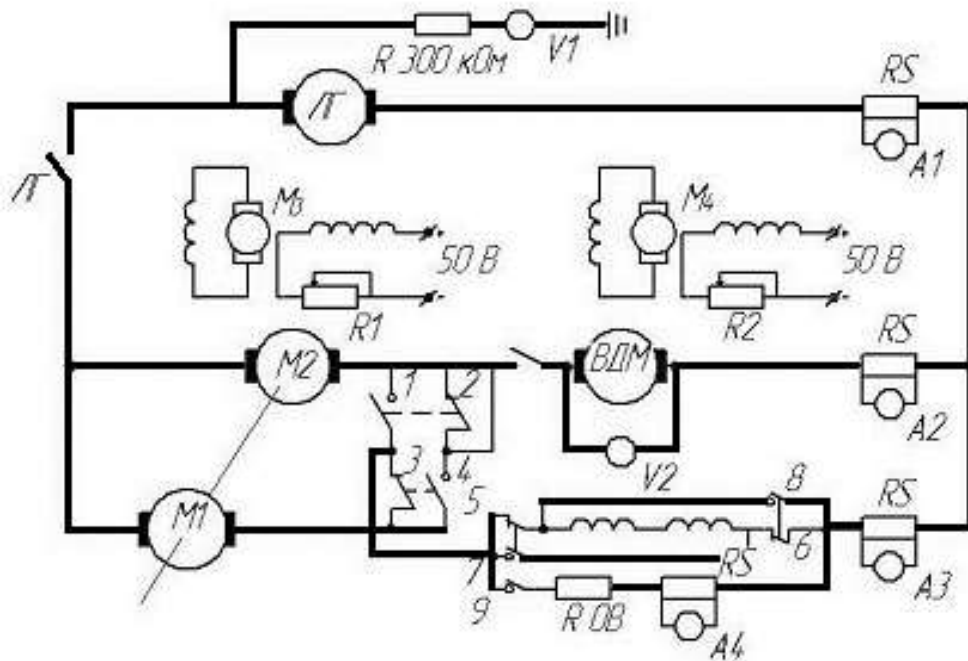


Рисунок 3.17 – Електрична схема стенду взаємного навантаження з лінійним генератором та вольтдобавочною машиною

Контакторами 1, 2, 3, 4 змінюють режими роботи випробувальних машин. Контактори 5, 6, 7, 8 служать для реверсування струму в обмотках збудження двигунів, що дозволяє змінювати напрям обертання випробувальних машин.

Згідно з ГОСТ 2582-81 постійний струм і напруга в електричних схемах, а також постійні складові напруги і струму вимірюють приборами магнітоелектричної системи класу точності не нижче 0,5 з добавочними резисторами і вимірювальними шунтами класу точності не нижче 0,5 [15].

При установці випробувальних машин на стенді їх вали з'єднують муфтами, для чого на кінцях валів передбачені шпонкові канавки. Оскільки вольтдобавочна машина компенсує падіння напруги в обмотках двигуна і генератора, то при зміні напруги ВДМ буде змінюватись струм двигуна і генератора. Напруга ЛГ практично рівна напрузі на випробувальному двигуні. Тому змінюючи напругу лінійного генератора, регулюють напругу і на випробувальному двигуні.

Запуск стенда виконують в наступному порядку:

– у відповідності з тим яка машина буде випробуватись в режимі двигуна, замикають контактори перемикача режимів (2, 3 або 1, 4), а також контактори

реверсора (5, 6 або 7, 8); на (рис 3.17) двигуном являється машина M_2 . Перемикання вказаних контакторів повинно виконуватись при повністю вимкненому стенді та зупинених машинах. Після цього камера апаратів управління закривається, запускаються асинхронні двигуни вольтодобавочної машини, лінійного генератора та збуджувачів ВДМ та ЛГ.

– увімкненням кнопки (+) на пульті управління стендом подається напруга в схему управління дистанційними апаратами;

– вмикається контактор ВДМ і плавно збуджується вольтодобавочна машина шляхом зменшення опору в колі збудження ВДМ;

– після того, як струм в колі випробувальних машин досягне 50-70 А, вмикається контактор ЛГ і лінійний генератор збуджується від свого збуджувача через резистор R_1 ;

– в подальшому, якщо це необхідно вмикається кнопка ОП, яка забезпечує шунтування обмотки збудження тягового двигуна.

При доброму збігові характеристик і правильному збиранню схеми випробувальні машини починають обертатися тільки зі збудженням лінійного генератора.

Потрібна напруга встановлюється за допомогою збудження лінійного генератора, а необхідне навантаження збудженням вольтодобавочної машини.

За час випробування тягових двигунів потрібно суворо дотримуватись правил безпечної роботи на стенді, уважно слідити за частотою обертання і навантаження випробувальних машин.

Для зупинки стенду необхідно спочатку збільшити опір резистора R_1 в колі збудження ЛГ (зняти збудження лінійного генератора), а потім зняти збудження ВДМ та вимкнути кнопки на пульті управління в зворотному порядку. В аварійних випадках для зупинки стенда негайно вимикають кнопку (+) або натискають червону кнопку на щиті РУ.

3.2.2 Принцип дії автоматизованого стенду для випробування тягових електродвигунів ЕД-118 на статичних перетворювачах

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Принципова електрична схема автоматизованої системи показана на рисунку 3.18. Випробування тягових електродвигунів виконується методом взаємного навантаження. Для компенсації постійних втрат потужності на випробуваних тягових електродвигунів застосовується лінійний тиристорний перетворювач. Компенсація змінних втрат потужності виконується за допомогою вольтододавального тиристорного перетворювача, напруга якого понижується вхідним трансформатором Тр.

Для формування сигналу, який би характеризував дані втрати, застосовано відповідний датчик (ДС) частоти оборотів 3.19 (на схемі ФПТ).



Рисунок 3.19 – Функціональний перетворювач струмів

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

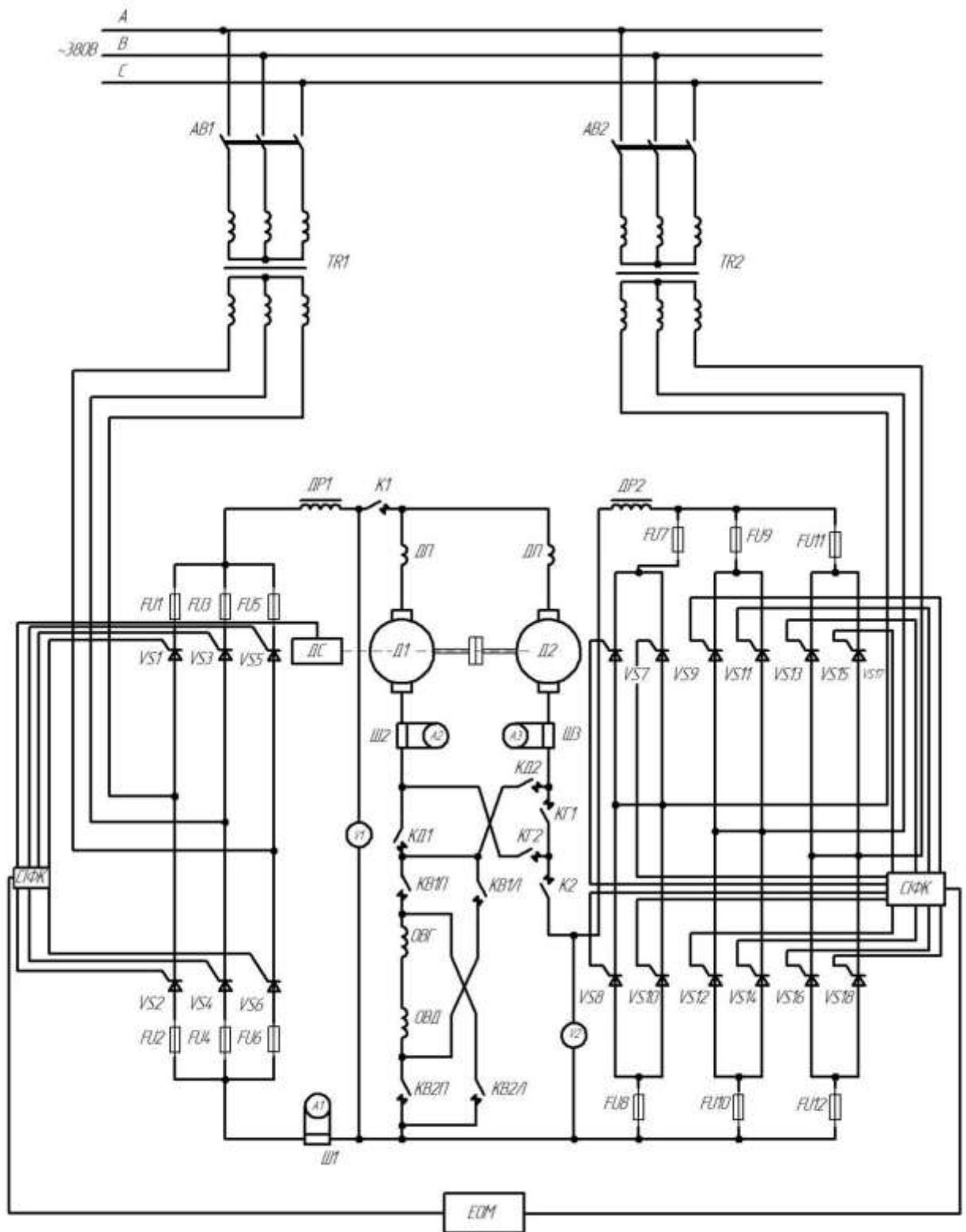


Рисунок 3.18 – Принципова схема автоматизованого стенду випробування тягових електродвигунів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

77

Для автоматичної компенсації втрат потужності визначено характер їх змін в різних режимах роботи. Постійні втрати ΔP_1 залежать від частоти оборотів тягових електродвигунів ω :

$$\Delta P_1 = a_0 + a_1 \omega, \quad (3.6)$$

а змінні втрати ΔP_2 являються квадратною функцією струмів I_1 та I_2 якорних кіл D1 і D2,

$$\Delta P_2 = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 + 2\Delta U(I_1 + I_2), \quad (3.7)$$

де a_0, a_1 – коефіцієнти, які визначають при апроксимації функції постійні втрати;

R_1, R_2 – опір якорних кіл тягових електродвигунів D1 і D2;

U – спад напруги на щітковому апараті тягових електродвигунів.

Режим випробування тягових електродвигунів задається оператором за допомогою директив з ЕОМ (персональний комп'ютер). Для таких операцій навіть створене програмне забезпечення, яке має назву ComRead v.2.0. Сигнали, які задають режим проведення випробувань, поступають на вхід системи імпульсно-фазового керування СИФУ1 та СИФУ2, який встановлює величину напруги лінійного тиристорного перетворювача ЛТП та вольтододавального тиристорного перетворювача ВТП для компенсації втрат потужності у випробуваних тягових електродвигунах. Але, незважаючи на це, стаються значні відхилення режимів від заданих ЕОМ внаслідок зміни температури тягових електродвигунів при їх нагріванні, коливань напруги живильної мережі, а також від змін механічних і магнітних втрат потужності та інших факторів.

Поновлення заданого режиму здійснюється шляхом взаємодії сигналів зворотного зв'язку від ДС та ФПТ по постійним та змінним втратам потужності відповідно на СИФУ1 та СИФУ2, а це в свою чергу призводить до відповідної зміни вхідних параметрів лінійного тиристорного перетворювача та вольтододавального тиристорного перетворювача. Наприклад, при нагріванні випробувальних тягових електродвигунів зменшується їх сила струму в якорних обмотках, які викликають зниження перемінних втрат потужності. Частота оборотів якорів тягових

									Арк.
									78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.190069.000.02MP.ПЗ				

електродвигунів при цьому зростає. Але зниження сили струму в якірних колах викликає зменшення вихідного сигналу ФТП, що тягне за собою збільшення напруги в вольтододавальному тиристорному перетворювачі, а відповідно, якірної сили струму тягового електродвигуна, що працює в режимі генератора. Частота обертання тягового електродвигуна, який працює в режимі привідного двигуна при цьому відновлюється.

При падінні напруги в мережі живлення, зменшується вихідна напруга в лінійному та вольтододавальному тиристорному перетворювачах. Втрата потужності в заданому режимі недокомпенсується, а частота обертання тягових електродвигунів, що випробовуються, та сила струму в якірних колах зменшаться. Це призведе до послаблення сигналів зворотних зв'язків від ДС та ФТП, що викличе збільшення напруги на лінійному та вольтододавальному тиристорному перетворювачі. урівноваження компенсації втрат здійснюється шляхом спільної взаємодії ДС і ФТП з СИФУ1, СИФУ2.

В системі застосовані нереверсивні тиристорні перетворювачі. Тягові електродвигуни, що випробовуються змінюють свій напрямок обертання шляхом переключання обмоток збудження за допомогою реверсорів.

При вмиканні контакторів К1, КВ2П, КВ1П і КД1 лінійний тиристорний перетворювач підключається до тягового електродвигуна D1, який буде працювати в режимі електродвигуна вмикання контакторів К2, КГ1 та вже включеному К1 підготовлюється коло живлення послідовного з'єднання вольтододавального тиристорного перетворювача та тягового електродвигуна D2, який буде працювати в режимі генератора. Заданий режим випробовування встановлюється після вмикання контактора К1 на який задаються відповідні сигнали від ЕОМ на СИФУ1 та СИФУ2. Реверсування D1 забезпечується перемиканням обмоток збудження ОВД та ОВГ. Перемикання ОВГ викликано необхідністю збереження попередньої полярності напруги генератора D2 при зміні напрямків оборотів його якоря.

Переведення тягового електродвигуна D2 в режим роботи електродвигуна здійснюється шляхом вмиканням контакторів КВ2П, КВ1П, КД2 та К1, а тягового електродвигуна D1 в генераторний – включенням контакторів К2, КГ2 та

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

попередньо включеним К1. При цьому КГ1 та КД1 повинні бути виключені. Реве-
рсування виконується аналогічним чином. Для захисту тиристорних перетворюва-
чів від аварійних режимів передбачено автомати АВ1 та АВ2 з електромагнітними
роз'єднувачами. Обмеження випрямленого струму лінійного та вольтододаваль-
ного тиристорного перетворювача, а також захитну функцію якірних кіл тягових
електродвигунів D1 та D2 забезпечується спеціальним пристроєм СИФУ1, СИФУ2
та запобіжниками FU1–FU18.

Для зменшення пульсації випрямленої напруги на виході лінійного та воль-
тододавального тиристорного перетворювача встановлені зглажуючі фільтри.

Перевагами даної автоматизованої системи для випробування тягових елект-
родвигунів являються підвищення точності проведення випробувань за рахунок
стабілізації режимів, автоматизація процесів випробувань, підвищення продуктив-
ності випробувальної системи, покращення енергетичних та масогабаритних пока-
зників. До немаловажних факторів можна віднести зменшення вібрації та шумно-
сті, можливість створення бази даних, як для одного тягового електродвигуна з
його технічними показниками так і для всіх які пройшли випробування, що дає мо-
жливість з більшою вірогідністю спрогнозувати поведження тягових електродви-
гунів під час експлуатації.

3.2.3 Розрахунок параметрів лінійного та вольтододавального статичних перетворювачів

Розглянемо розрахунок параметрів автоматизованого стенду взаємного нава-
нтаження для випробування тягових електродвигунів ЕД-118 з лінійним та вольто-
додавальними тиристорним перетворювачем. Основні пристрої, що входять в еле-
ктричну схему стенду, є лінійний генератор і вольтододаткові машини, що компе-
нсують відповідно втрати холостого ходу й електричні втрати. У запропонованій
схемі ці машини замінюються статичними перетворювачами.

У схемі стенду задіяні два однакові тягові електродвигуни ЕД-118. При
цьому один – D1 працює в режимі електродвигуна, а інший – D2 в режимі генера-
тора, у коло якого послідовно підключено вольтододавальний перетворювач. Ос-
новні параметри тягового електродвигуна ЕД-118 показано в таблиці 3.1.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Таблиця 3.1 – Основні параметри тягового електродвигуна ЕД-118

Годинна потужність, кВт	Напруга, В	Сила струму, А	Опір обмотки при 20 С, Ом	ККД, %	Рід струму
305	463/700	720/476	0,0135 – як. 0,0105 – г.п. 0,00851 – д.п.	91,6	постійний

Параметри вольтододавального та лінійного тиристорів можуть бути визначені, виходячи з наступних міркувань. Рівняння балансу напруги для кіл двигуна D1 та генератора D2 має наступний вигляд:

$$U_{\text{лп}} = E_1 + I_d \cdot (r_{\text{я}} + 2r_{\text{гп}} + r_{\text{дп}}), \quad (3.8)$$

$$U_{\text{л.п}} = E_2 + E_{\text{вдп}} - I_{\text{г}} \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{гп}} + r_{\text{я.вдп}}), \quad (3.9)$$

де $U_{\text{л.п}}$ – напруга лінійного генератора;
 E_1 – ЕРС першого тягового електродвигуна D1;
 E_2 – ЕРС другого тягового електродвигуна D2;
 $E_{\text{вдп}}$ – ЕРС вольтододавального перетворювача;
 $I_d, I_{\text{г}}$ – струми відповідно якорів двигуна і генератора;
 $r_{\text{я}} + r_{\text{гп}} + r_{\text{дп}}$ – сума опорів обмоток якоря, додаткових і головних полюсів.

Оскільки тягові електродвигуни D1 та D2 однакові, обертаються з однаковими кутовими швидкостями, то можна вважати їх ЕРС рівними, тобто $E_1 = E_2$.

У цьому випадку, прирівнявши праві частини рівнянь (3.8) та (3.9), отримаємо вираз для напруги вольтододавального перетворювача:

$$U_{\text{вдп}} = E_{\text{вдп}} - I_{\text{г}} \cdot r_{\text{я.вдп}} = I_d \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{гп}} + r_{\text{дп}}) + I_{\text{г}} \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{дп}}), \quad (3.10)$$

Але струми обох машин D1 та D2 ввімкнено послідовно $I_d = I_{\text{г}} = I$, тому перетворивши рівняння (3.10), отримаємо:

$$U_{\text{вдп}} = 2I \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{гп}} + r_{\text{дп}}). \quad (3.11)$$

Помноживши обидві частини рівняння (3.11) на величину струм I , визначимо необхідну потужність вольтододавального перетворювача:

$$P_{\text{вдп}} = U_{\text{вдп}} \cdot I = 2I^2 \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{гп}} + r_{\text{дп}}). \quad (3.12)$$

Варто звернути увагу на необхідність, згідно з ГОСТ 2582-81, звести усі опори, що приведені для 20 °С, до температури 115 °С. Для цього значення опорів необхідно помножити на коефіцієнт $k = 1,38$.

$$r_{\text{я}} = 0,00135 \cdot 1,38 = 0,0168 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{гп}} = 0,0105 \cdot 1,38 = 0,0144 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{дп}} = 0,00821 \cdot 1,38 = 0,0115 \text{ Ом}.$$

З урахуванням вищезазначеного, згідно з рівнянням (3.12), напруга, потужність і струм вольтододавального перетворювача набувають для тягових електродвигунів ЕД-118, наступних значень

$$U_{\text{вдп}} = 2 \cdot 720 \cdot (0,0186 + 0,0144 + 0,0115) = 64,08; \text{ приймаємо } 64 \text{ В}.$$

$$P_{\text{вдп}} = 64 \cdot 720 = 46080 \text{ Вт}; \text{ приймаємо } 46 \text{ кВт}.$$

Отже потужність вольтододавального тиристорного перетворювача складає 46 кВт напруга 64 В і сила струму 720 А. Але треба врахувати необхідні за ГОСТ 2582-81 перевантаження за струмом, рівні подвійному часовому струму. Таким чином, параметри вольтододавального перетворювача у схемі стенда взаємного навантаження, що вдосконалюється, повинні бути наступними:

Напруга

$$U_{\text{вдп}} = 64 \cdot 2 = 128 \text{ В}, \text{ приймаємо } 220 \text{ В}.$$

Сила струму

$$I_{\text{вдп}} = 720 \cdot 2 = 1440 \text{ А}, \text{ приймаємо } 1450 \text{ А}.$$

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Варто відзначити, що дані параметри є максимальними і обрані з тих міркувань, що напівпровідникові прилади не припускають таких перевантажень за струмом, на відміну від використання електромеханічних перетворень.

Напругу лінійного перетворювача визначимо за рівнянням (3.8) у припущенні, що ЕРС

$$E_1 \approx 0,96 \cdot U = 0,96 \cdot 700 = 672 \text{ В.}$$

Знаючи електрорушійну силу та підставивши всі значення у рівняння (3.9), визначимо напругу лінійного перетворювача:

$$U_{\text{лп}} = 672 + 720 \cdot (0,0186 + 2 \cdot 0,0144 + 0,0115) = 735 \text{ В.}$$

Визначимо сумарні втрати в двигуні

$$\sum p = \frac{P_2}{\eta} \cdot (1 - \eta) = \frac{305}{0,916} (1 - 0,916) = 28 \text{ кВт.}$$

Оскільки вольтододатковий та лінійний перетворювачі компенсують всі втрати потужності тягових електродвигунів D1 та D2, що випробовуються, потужність лінійного перетворювача може бути визначена, як різниця суми втрат в обох тягових електродвигунах і потужності вольтододавального перетворювача, яку ми визначили раніше

$$P_{\text{лп}} = 2 \sum p - P_{\text{вдп}} \quad (3.13)$$

Підставимо втрати потужності тягових електродвигунів та потужність вольтододавальної машини в значення (3.13) і визначимо потужність лінійного перетворювача

$$P_{\text{лп}} = 2 \cdot 28 - 46 = 10 \text{ кВт.}$$

Визначимо силу струму за формулою

$$I_{\text{лп}} = \frac{P_{\text{лп}}}{U_{\text{лп}}} = \frac{10000}{735} = 14 \text{ А.} \quad (3.14)$$

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Отже потужність лінійного перетворювача складає 10 кВт, напруга 735 В, а сила струму 14 А.

Згідно з ГОСТ 2582 тягові двигуни повинні бути розраховані на напругу, встановлену для електричного гальмування, тобто на напругу 2000 В, яку варто прийняти за номінальну напругу лінійного перетворювача. З урахуванням цього параметри лінійного перетворювача повинні бути наступними: $U_{\text{лп}} = 2000 \text{ В}$; сила струму – $I_{\text{лп}} = 30 \text{ А}$; потужність – $P_{\text{лп}} = 60 \text{ кВт}$.

3.2.4 Розрахунок кількості напівпровідникових вентилів для статичних перетворювачів випробувального стенду

Масогабаритні показники вольтододавальної машини та лінійного перетворювача залежать від режимів випробувань, типу та параметрів силових напівпровідникових вентилів. Так, максимальне випрямлені значення струму $I_{d \text{ max}}$ та напруги $U_{d \text{ max}}$ визначаються режимами випробувань тягових електродвигунів.

Лінійний перетворювач повинен забезпечити наступні вимоги:

$$I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = 30 \text{ А}; U_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = 2000 \text{ В}.$$

Вольтододавальний перетворювач повинен забезпечити наступні вимоги:

$$I_{d \text{ max}}^{\text{вдм}} = 1450 \text{ А}; U_{d \text{ max}}^{\text{вдм}} = 220 \text{ В}.$$

В якості силових напівпровідникових вентилів вибрано діоди лавинною характеристикою восьмого класу, типу ВЛ 200-8. Коефіцієнт нерівномірності розподілу напруги на послідовно включених діодах з лавинною характеристикою $k_{\text{н}} = 1$.

За номінальну напругу $U_{d \text{ max}}^{\text{лп}}$ прийнято напругу на виході лінійного перетворювача, яка відповідає максимальній напрузі тягового електродвигуна для режиму електричного гальмування. Збільшення напруги при цьому залежить від статизма системи регулювання і, як правило, не перевищує 10 %. При цьому коефіцієнт можливих перенапруг приймається рівним $k_{\text{п}} = 1.1$.

Враховуючи вище сказане, кількість послідовно з'єднаних діодів в плечах лінійного перетворювача визначається наступним чином:

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$$n_{\text{пос}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{п}} \cdot U_{\text{обр max}}^{\text{лп}}}{k_{\text{в}} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (3.15)$$

де $U_{\text{обр max}}$ – максимальне значення напруги на силовому вентилі в трьохфазній

мостовій схемі лінійного перетворювача $U_{\text{обр max}} = 0,5 \cdot U_{\text{обр max}}^{\text{лп}}$;

$U_{\text{н}}$ – номінальне значення зворотної напруги вентиля ВЛ 200-8.

$$U_{\text{н}} = 800 \text{ В.}$$

$$n_{\text{пос}} = \frac{1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 2000}{1 \cdot 800} = 2,88.$$

Приймаємо $n_{\text{пос}} = 3$ так, як при пробі одного з вентилів повинна зберігатись працездатність лінійного перетворювача.

Розрахунок числа паралельно з'єднаних вентилів в плечі випрямляючої установки виконуються по відомому значенню максимального випрямленого струму $I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = 30 \text{ А}$, так як силова схема складається з двох трифазних мостових випрямлювачів, які ввімкнуті паралельно до навантаження, то струм через один діодний міст складатиме:

$$I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = \frac{30}{2} = 15 \text{ А.}$$

Середнє значення струму в одному плечі моста

$$I_{\text{ср}} = 0,33 \cdot I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} ; \quad (3.16)$$

$$I_{\text{ср}} = 0,33 \cdot 15 = 5 \text{ А.}$$

У відповідності з ГОСТ 10662–73 при температурі навколишнього середовища $t = 50^{\circ}\text{C}$ величина максимального значення струму через діод повинна бути знижена до значення $0,9 \cdot I_{\text{вн}}$ [16].

Враховуючи розбалансованість струмів по паралельним віткам 20%, допустимий струм через вентиль складатиме

$$I_{\text{в}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot I_{\text{вн}} = 0,72 \cdot 200 = 144 \text{ А.} \quad (3.17)$$

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Кількість паралельних гілок в одному плечі випрямляючої установки буде:

$$n_{\text{пар}} = \frac{I_{\text{ср}}}{0,72 \cdot I_{\text{в}}} = \frac{5}{144} = 0,034. \quad (3.18)$$

Загальна кількість силових вентилів лінійного перетворювача складатиме

$$N^{\text{лп}} = 2 \cdot 6 \cdot n_{\text{пос}} \cdot n_{\text{пар}} = 2 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,034 = 1,24 \text{ шт.} \quad (3.19)$$

Приймаємо $N^{\text{лп}} = 6$ шт.

Так само розрахуємо кількість вентилів для вольтододавального перетворювача. Так як за номінальну напругу $U_{d \text{ max}}^{\text{вдп}}$ прийнято напругу на виході вольтододавального перетворювача, яка відповідає згідно з ГОСТ 2582-81 подвійному перевантаженню за струмом та напругою. Збільшення напруги при цьому залежить від статизма системи регулювання і, як правило, не перевищує 10 %. При цьому коефіцієнт можливих перенапруг приймається рівним $k_{\text{п}} = 1,1$.

Враховуючи вище сказане, кількість послідовно з'єднаних діодів в плечах лінійного перетворювача визначається наступним чином:

$$n_{\text{пос}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{п}} \cdot U_{\text{обр max}}^{\text{вдп}}}{k_{\text{в}} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 220}{1 \cdot 800} = 0,31. \quad (3.20)$$

Приймаємо $n_{\text{пос}} = 2$, так як при пробої одного з вентилів повинна зберігатись працездатність лінійного перетворювача.

Розрахунок числа паралельно з'єднаних вентилів в плечі випрямляючої установки виконуються по відомому значенню максимального випрямленого струму $I_{d \text{ max}}^{\text{вдп}} = 1450$ А, так як силова схема складається з двох трифазних мостових випрямлячів, які ввімкнуті паралельно до навантаження, то струм через однодіодний міст складатиме:

$$I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = \frac{1435}{2} = 717,5 \text{ А.}$$

Середнє значення струму в одному плечі моста

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$I_{\text{ср}} = 0,33 \cdot I_{d \text{ max}}^{\text{лп}} = 0,33 \cdot 717,5 = 237 \text{ А.} \quad (3.21)$$

У відповідності з ГОСТ 10662–73 при температурі навколишнього середовища $t = 50^{\circ}\text{C}$ величина максимального значення струму через діод повинна бути знижена до значення $0,9 \cdot I_{\text{вн}}$ [15].

Враховуючи розбалансованість струмів по паралельним віткам 20%, допустимий струм через вентиль складатиме

$$I_{\text{в}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot I_{\text{вн}} = 0,72 \cdot 200 = 144 \text{ А.} \quad (3.22)$$

Кількість паралельних гілок випрямляючої установки в одному плечі буде:

$$n_{\text{пар}} = \frac{I_{\text{ср}}}{0,72 \cdot I_{\text{в}}} = \frac{237}{144} = 1,64. \quad (3.23)$$

Загальна кількість силових вентилів лінійного перетворювача складатиме

$$N = 2 \cdot 6 \cdot n_{\text{пос}} \cdot n_{\text{пар}} = 2 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 = 48 \text{ шт.} \quad (3.24)$$

Отже загальна кількість кремнієвих діодів типу ВЛ 200-8 в лінійному перетворювачі становить шість штук, а вольтододавального перетворювача – 48 шт.

3.3 Схеми взаємного навантаження тягових електричних машин послідовного збудження

Аналіз інвентарного парку тягового рухомого складу залізниць та промислових підприємств України показує, що найбільшу його частину становлять тягові засоби, у яких використовуються колекторні тягові двигуни постійного або пульсуючого струму. Приймально-здавальні випробування тягових електромашин є важливою та невід’ємною частиною технологічного процесу їх виготовлення або ремонту, матеріальні витрати на яку входять у собівартість кінцевої продукції. Якість технічного контролю, що здійснюється при приймально-здавальних випробуваннях тягових електромашин, зрештою, визначає надійність та безвідмовність всього тягового засобу, а отже, й економічну ефективність залізничних перевезень [16].

						0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			87

Реальний стан багатьох з існуючих станцій з випробування тягових електромашин не відповідає сучасним вимогам щодо організації ремонту та технічного контролю. На більшості таких станцій використовуються стенди взаємного навантажування з низькою енергетичною ефективністю. На деяких підприємствах з ремонту тягового рухомого складу магістрального та промислового транспорту взагалі відсутні стенди для проведення післяремонтних випробувань тягових електромашин під навантаженням.

У багатьох з відомих досліджень, як правило, розглядаються загальні питання випробувань електромашин із згадуванням існуючих схемних рішень системи взаємного навантажування. При цьому до цього часу не визначений та не систематизований повний ряд принципово можливих схемних рішень, які забезпечують взаємне навантажування тягових електромашин постійного та пульсуючого струму послідовного збудження. Існує необхідність визначення раціональності використання того або іншого варіанта схеми навантажування для проведення прийнятно-здавальних випробувань тягових електричних машин визначеного типу. Мало вивчені питання, пов'язані з еквівалентними режимами випробувань тягових електромашин та їхнім впливом на витрати електроенергії, а також на якість випробувань.

Отже можна зробити висновок, що дослідження, які спрямовані на вирішення проблеми вибору раціональних схем та режимів випробування тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму тягового рухомого складу магістрального та промислового залізничного транспорту, є актуальними.

Якісне проведення післяремонтних випробувань тягових електромашин можливе тільки під навантаженням. Аналіз робіт у галузі створення систем навантажування електричних машин постійного струму показує, що існують три основних способи навантажування випробуваних електромашин: безпосереднє навантажування; взаємне навантажування; динамічне навантажування.

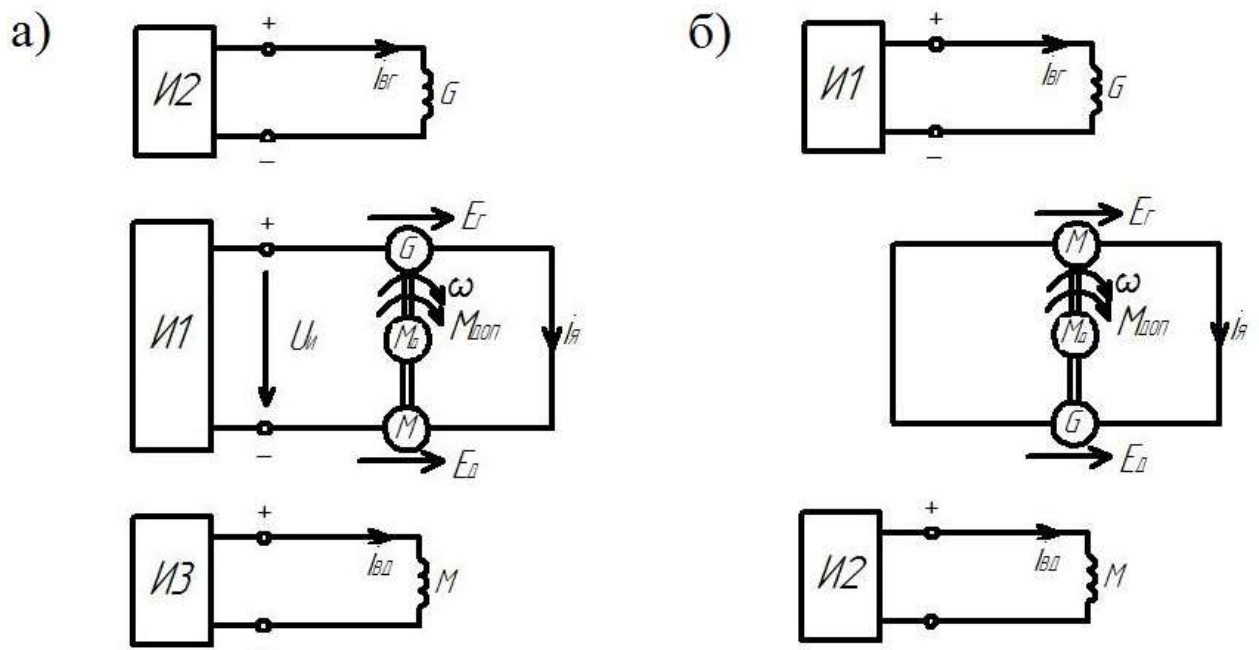
Високу енергетичну ефективність при відносно невисокій приведеній сумарній потужності джерел живлення забезпечують системи взаємного навантажування із замкненим циклом енергообміну між випробуваними електромашинами.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Джерела зовнішнього живлення у таких системах навантажування потрібні тільки для компенсації втрат потужності у електромашинах, що випробовуються.

Для електромашин постійного струму загальнопромислового призначення найбільш відомими є способи взаємного навантажування за схеми Блонделя, Гопкінсона, Пот'є, Хетчинсона і Каппа. Основним недоліком цих схем є незалежне збудження випробовуваних електромашин. Для випробування тягових електричних машин послідовного збудження цей недолік стає досить суттєвим.

Схема Блонделя (Рис 3.20, а). Вали випробовуваних двигуна M і генератора G механічно з'єднані між собою і з валом додаткового двигуна M_D . Обмотки якорів випробовуваних електромашин включені в замкнутий контур послідовно з джерелом напруги $I1$. Їх обмотки збудження підключені незалежно до джерел $I2, I3$. Токи збудження випробовуваних електромашин $i_{вГ}$ та $i_{вД}$ можуть регулюватися незалежно. Можливо таке регулювання, при якому ЕРС двигуна і генератора будуть рівними. Джерело $I1$ компенсує електричні втрати в ланцюзі якорів, а двигун M_D втрати холостого ходу у випробовуваних електромашин. Напруга на випробовуваних електромашин регулюється зміною швидкості обертання ω і струмів збудження $i_{вГ}$ та $i_{вД}$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

89

Рисунок 3.20 – Принципова схема взаємного навантаження Блонделя (а) і Гопкінсона (б)

Схема Гопкінсон (Рис 3.20, б). Вали випробовуваного двигуна M і генератора G механічно з'єднані з валом додаткового двигуна $M_{д}$. Обмотки якорів випробовуваних електромашин включені в замкнутий електричний ланцюг. Їх обмотки збудження підключені незалежно до джерел $И1$ і $И2$. Всі втрати в стенді взаємної навантаження, крім втрат в обмотках збудження, компенсуються додатковим двигуном $M_{д}$.

Схема Потье (Рис 3.21, а). Вали випробовуваних двигуна M і генератора G з'єднані механічно. Обмотки якорів включені в замкнутий контур послідовно з джерелом напруги $И1$. Їх обмотки збудження підключені незалежно до джерел $И2$ і $И3$. Всі втрати в стенді взаємної навантаження, крім втрат в обмотках збудження, компенсуються джерелом $И1$.

Схема Хетчинсона (Рис 3.21, б). Вали якорів випробовуваних двигуна M і генератора G механічно з'єднані між собою. Обмотки якорів включені в замкнутий електричний контур з джерелом напруги $И1$. Паралельно якірної обмотці двигуна M включений джерело напруги $И2$. Обмотки збудження двигуна і генератора підключені незалежно до джерел $И3$ і $И4$. Паралельне підключення джерела $И2$ у даній схемі забезпечує стабілізацію напруги на якорі випробовуваного двигуна M . Магнітні і механічні втрати в стенді за умови $E_{д}=E_{г}$ компенсуються джерелом $И2$. Велика частина електричних втрат в якірних ланцюгах компенсується джерелом $И1$. Електричні втрати, зумовлені протіканням струму $i_{и2}$, компенсуються джерелом $И2$. Струм навантаження $i_{д}$ при випробуваннях регулюється напругою джерела $И1$.

Схема Канна (Рис 3.21, в). Вали випробовуваних двигуна M і генератора G з'єднані механічно. Обмотки якорів включені в замкнутий електричний контур. Паралельно якірної обмотці двигуна M включений джерело напруги $И1$. Обмотки збудження двигуна і генератора підключені незалежно до джерел $И3$, $И4$. Всі втрати в стенді, крім втрат в обмотках збудження, компенсуються одним джерелом $И1$.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Струм навантаження i_D регулюється шляхом зміни струмів збудження $i_{ВД}$, $i_{ВГ}$ і напруги джерела $И1$.

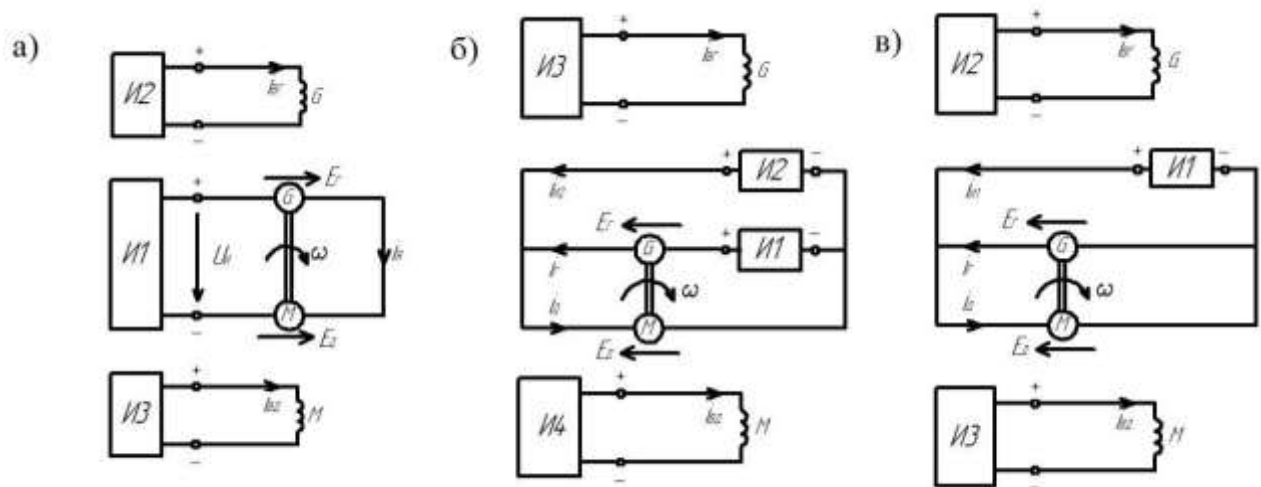


Рисунок 3.21 – Принципові схеми взаємного навантаження Потье (а), Хетчінсона (б) і Каппа (в)

Схеми Блонделя і Потье відносяться до варіантів з послідовним включенням джерела живлення, схема Каппа – з паралельним включенням. У схемі Хетчінсона використовується послідовно-паралельне включення джерел. Схеми Гопкінсона і Блонделя відносяться до варіантів з механічним способом компенсації втрат.

Перевагою схем з паралельним і послідовно-паралельним включенням джерел є автоматична стабілізація випробувальної напруги на двигуні і простота його незалежного регулювання.

Перевагою схем з послідовним і послідовно-паралельним включенням джерел живлення є відносна простота стабілізації і регулювання струму навантаження.

До переваг схем з механічним способом компенсації втрат можна віднести відносну простоту регулювання і стабілізації частоти обертання якорів випробовуваних електромашин.

Строго кажучи, для проведення приймально-здавальних випробувань електричних машин постійного струму не потрібно стабілізації частоти обертання. Проте, зовнішнє завдання значення частоти обертання якорів електромашин забезпечує механічну стійкість системи взаємного навантаження.

Струм I_{Γ} визначає навантаження випробуємих електромашин і регулюється напругою ВДМ. При збігу магнітних характеристик випробовуваних електромашин електричні втрати, викликані протіканням струму I_{Γ} , компенсуються вольто-додаткою, а втрати холостого ходу і частина електричних втрат, викликаних протіканням струму $I_{\text{лг}}$, компенсуються лінійним генератором.

При розбіжності магнітних характеристик випробуємих електромашин частина втрат холостого ходу можуть компенсуватися ВДМ, так само як частина електричних втрат можуть компенсуватися ЛГ.

До переваг даної схеми слід віднести, перш за все, простоту регулювання напруги і струмового навантаження випробовуваних електромашин. Схема допускає роздільне розімкнуте регулювання цих параметрів без застосування систем автоматичного управління.

До недоліків схеми відносяться необхідність в високовольтному регуляторі напруги і завищена сумарна потужність джерел живлення, викликана можливим перерозподілом їх енергетичних потоків при розходженні магнітних характеристик випробуємих електромашин.

Другий за поширеністю на випробувальних станціях тягових електромашин є схема з механічним способом компенсації втрат холостого ходу і послідовним включенням джерела електричної потужності. Така схема приведена на рис. 3.23. У даній системі використовується той же принцип взаємного навантаження, що і в схемі Блонделя. При цьому обмотки збудження включені послідовно з обмотками якорів випробовуваних електромашин і джерелом напруги (ВДМ) в замкнутий електричний контур.

Взаємне навантаження в статичному режимі описується рівняннями балансу напруг і моментів:

$$\begin{cases} \sum \Delta U = U_{\text{ВДМ}} + E_{\Gamma} - E_{\text{д}}; \\ \sum \Delta M = M_{\text{доп}} + M_{\text{емд}} - M_{\text{емг}}, \end{cases} \quad (3.28)$$

Струм I визначає навантаження випробовуваних електромашин і регулюється напругою ВДМ. Всі електричні втрати компенсуються вольтдобавкою, а втрати холостого ходу - додатковим двигуном M_d .

При розбіжності магнітних характеристик випробовуваних електромашин частина втрат холостого ходу може компенсуватися ВДМ, так само як частина електричних втрат може компенсуватися додатковими двигуном M_d .

До переваг даної схеми слід віднести відсутність високовольтного регулятора напруги і відносну простоту регулювання струму навантаження і частоти обертання якорів електромашин.

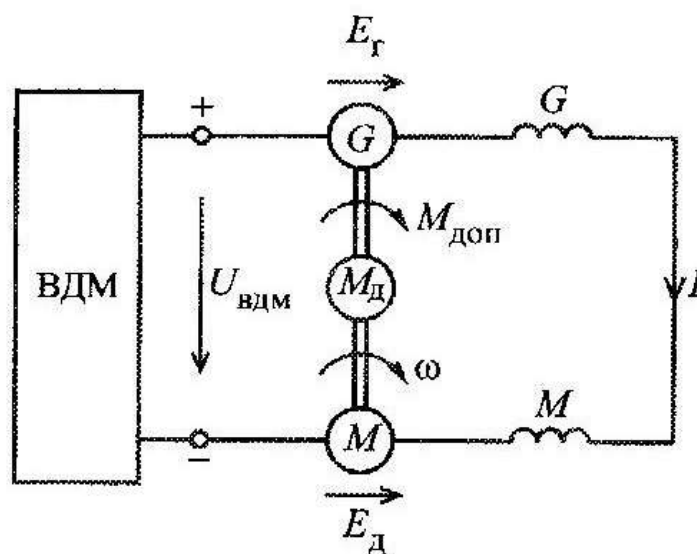


Рис. 3.23 – Схема з механічним способом компенсації втрат холостого ходу і послідовним включенням джерела електричної потужності

До недоліків даної схеми відносяться:

- неможливість роздільного разомкнутого регулювання струму і напруги на випробовуваних електромашинах;
- завищена сумарна потужність джерел, викликана можливим перерозподілом їх енергетичних потоків при розходженні магнітних характеристик випробовуваних електромашин;
- наявність двох точок механічного з'єднання валів електромашин;
- необхідність у високій механічній міцності і двосторонності вала додаткового двигуна при випробуванні тягових електродвигунів рухомого складу з

односторонньою тяговою передачею.

На рисунку 3.24 приведені варіанти схем взаємного навантажування, які можуть розглядатися як множина альтернатив при вирішенні задачі вибору раціональної схеми випробування електричних машин тягового рухомого складу магістрального та промислового залізничного транспорту.

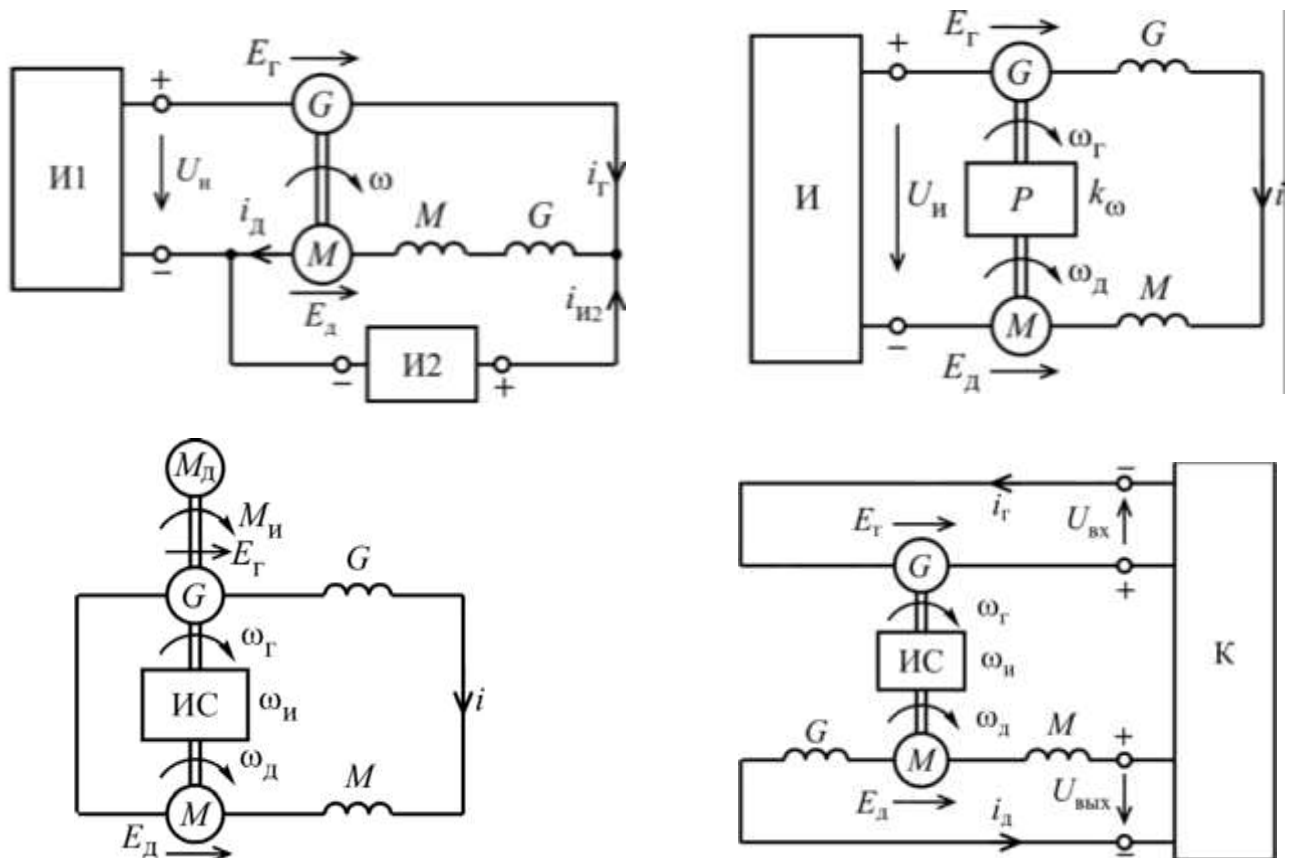


Рисунок 3.24 – Варіанти схем взаємного навантажування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

96

4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

4.1 Призначення, будова та принцип роботи автоматизованої системи вимірювань

Автоматизована система випробувань призначена для виконання наступних функцій:

- автоматичного збору і обробки результатів вимірювань;
- підвищення точності і об'єктивності вимірювань;
- оперативного контролю вимірювальних параметрів, видачі відповідної інформації на екран дисплея або цифрової печатної машини;
- розрахунок необхідних параметрів, оформлення протоколу та тривалого зберігання в пам'яті результатів випробувань.

Схеми вимірювань наведено на рисунку 4.1.

При роботі автоматизованої системи вимірювань на стенді взаємного навантаження вимірюються такі параметри:

- падіння напруги в обмотці якоря першого двигуна;
- падіння напруги в обмотці якоря другого двигуна;
- падіння напруги в обмотці збудження першого двигуна;
- падіння напруги в обмотці збудження другого двигуна;
- падіння напруги в обмотці додаткових полюсів першого двигуна;
- падіння напруги в обмотці додаткових полюсів другого двигуна;
- струм в обмотці якоря першого та другого двигуна;
- напругу на якорі першого двигуна;
- напругу на якорі другого двигуна;
- напругу лінійного генератора;
- частоту обертання лінійного генератора;
- напругу вольтодобавочної машини;

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

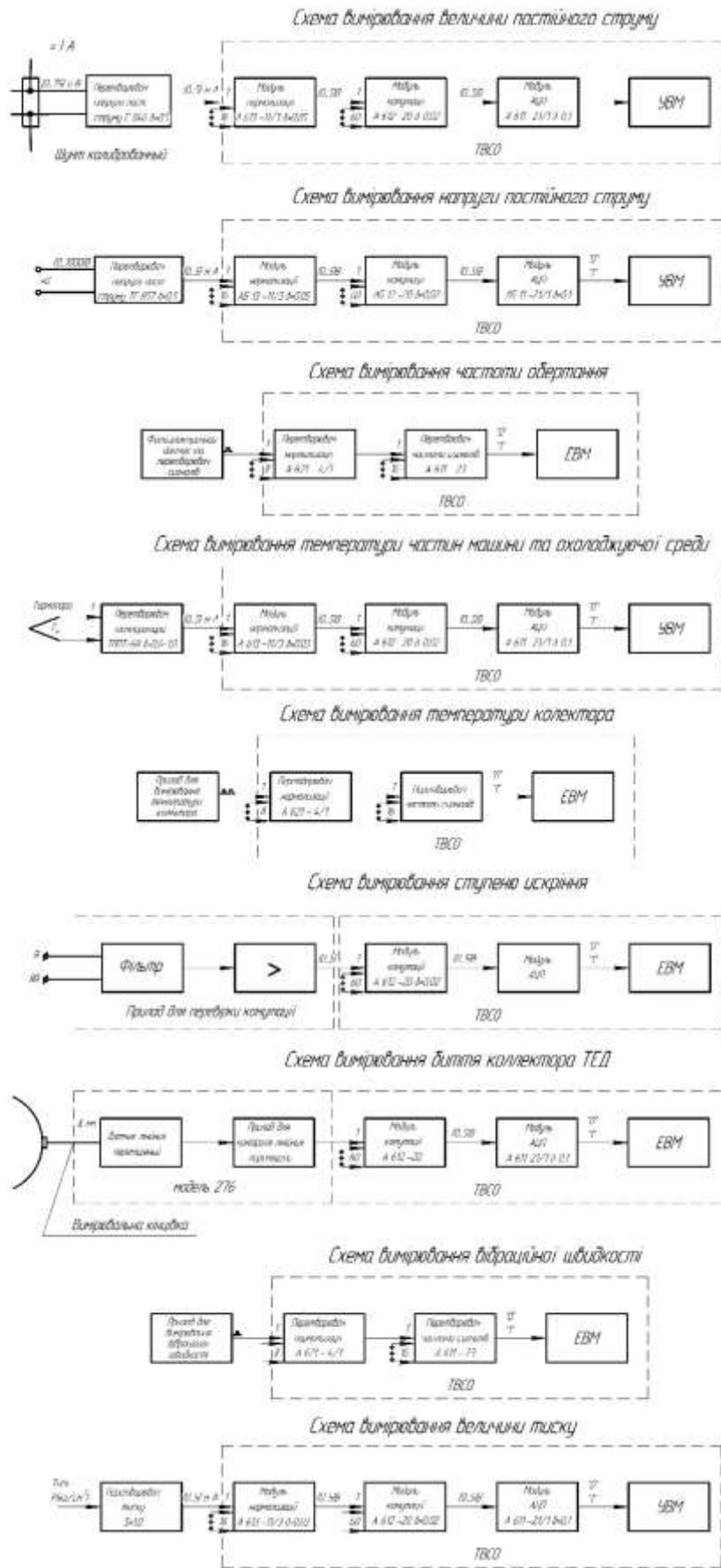


Рисунок 4.1 – Схеми вимірювань параметрів ТЕД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

- температуру навколишнього середовища;
- температуру великого підшипника першого двигуна;
- температуру малого підшипника першого двигуна;
- температуру великого підшипника другого двигуна;
- температуру малого підшипника другого двигуна;
- биття колектора першого двигуна;
- биття колектора другого двигуна;
- час.

Склад основних технічних засобів, які входять в автоматизовану систему вимірювань (АСВ) та структурна схема АСВ приведена на рис 4.2.

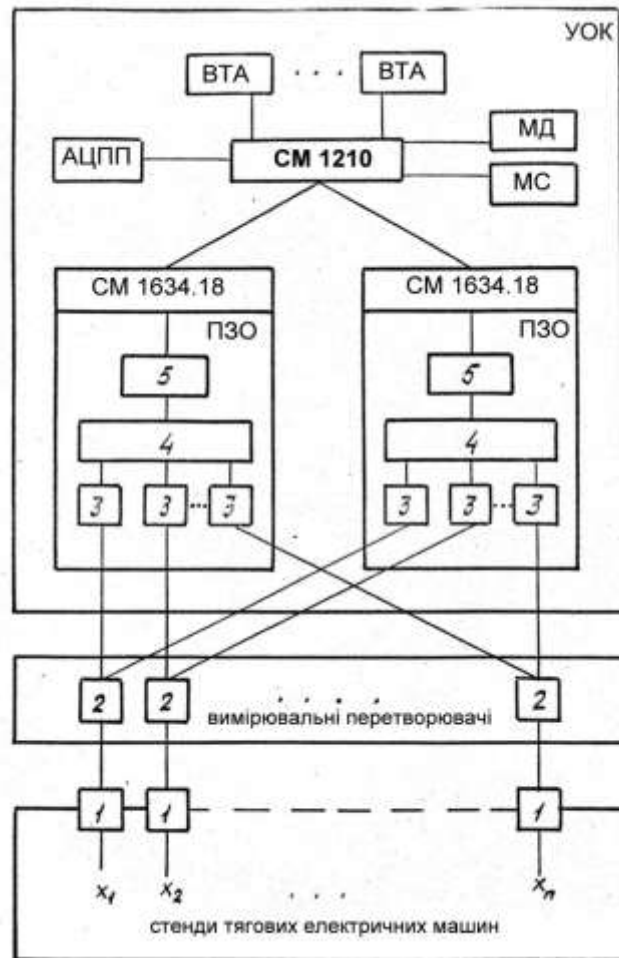


Рисунок 4.2 – Структура технічних засобів АСВ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

99

Основою системи являється управляючий вимірювальний комплекс (УОК), який включає в себе вимірювальні машини типу СМ та модулі пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО) в які входять: нормалізатор 3, комутатор 4 та аналоговий перетворювач 5.

Вимірювальні параметри x_1, x_2, \dots, x_n тягових електричних машин за допомогою датчиків 1, вимірювальних перетворювачів 2 і нормалізаторів 3 перетворюються в уніфікований сигнал (0...5) мА. Комутатор призначений для послідовного підключення датчиків і передачі сигналів до аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

По результатам вимірювань розраховуються непрямі параметри, які наряду з вимірювальними в кінці кожного режиму зрівнюються з нормативними значеннями, після чого виробляється ознака придатності по даному виду випробувань.

В ході випробувань передбачена організація двостороннього зв'язку системи з оператором. Величини вимірюваних або розрахованих за допомогою АСВ параметрів (періодично з певним інтервалом або по команді оператора) виводиться для контролю на екран відео-термінального пристрою (ВТА, дисплей) або пристрою друку. Якщо в процесі випробувань який-небудь із параметрів виходить за допустиме значення, подається сигнал, і значення цього параметра виводиться на екран дисплея.

При несправності вимірювальної системи виводиться відповідна інформація.

Оператор має можливість за допомогою спеціальних команд втручатись в процес випробувань, вносити вимірювання в програму випробувань, отримувати інформацію, яка його цікавить.

Після виконання усієї програми випробувань вимірювальні і розраховані значення тягових електричних машин оформляються у вигляді протокола, видаються на пристрій друку та заносяться в архів на магнітних носіях (дисках, МД, флеш-накопичувах та ін.). Якщо тягова електрична машина не пройшла випробувань, формується аварійний протокол і виконується відповідний запис в архіві. Окрім цього передбачене формування робочого протоколу, в якому висвітлюються дії оператора.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

Виконання функції АСВ забезпечується роботою і взаємодією наступних функціональних підсистем:

- підсистеми збору та первинної обробки даних;
- підсистеми реєстрації та обробки архівних даних;
- підсистеми автоматизованого контролю і діагностики;
- підсистеми підготовки і управління випробуваннями.

Автоматизована система володіє широким діапазоном виконавчих функцій, які визначаються її програмними засобами і технічним забезпеченням.

Технічне забезпечення АСВ побудовано здебільшого на базі засобів, що серійно випускаються промисловістю.

Для вимірювання величин постійного струму застосовані шунти типу ШС та 75 ШСМ і вимірювальні перетворювачі типу Е 856/1.

Вимірювання величин напруги постійного струму виконується перетворювачами напруги Е 857/1, що має широкий діапазон вимірювання вхідного сигналу від 0 до 1000 В.

Вказані перетворювачі струму та напруги мають клас точності 0,5, гальванічну розв'язку і уніфікований вихідний сигнал по струму від 0 до 5 мА, що дозволяє вводити його безпосередньо на вхід нормалізаторів термінала обчислювального зв'язку з об'єктом (ТОЗО). Живлення перетворювачів здійснюється від мережі 220 В.

Вимірювання частоти обертання тягового електричного двигуна здійснюється шляхом вимірювання між двома послідовними імпульсами, які виробляються фотоелектричним датчиком, що виробляє один імпульс за оберт якоря ТЕД. Переривання світлового потоку здійснюється тонким диском, який встановлений на муфті, що з'єднує вали ТЕД. Сигнал з виходу датчика подається безпосередньо на вхід частотного модуля ТОЗО.

Вимірювання опору ізоляції обмоток здійснюється мегаометром типу 4102/1, який працює від промислової мережі 220 В. Електричний вихідний сигнал, який подається в ТОЗО, знімається з виводів мікроамперметра М903 даного приладу, виведених на клеми заводського корпусу.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Вимірювання температури колекторів здійснюється серійним прибором (перетворювач пирометричний АПІР-С «Смотрич» 1), працюючим за принципом перетворювача енергії інфрачервоного випромінювання в електричний вихідний сигнал.

Вимірювання температури підшипників (великого та малого) і навколишнього середовища здійснюється термоелектричними перетворювачами типу ХК спеціального виготовлення, сигнали з яких по компенсаційним провідникам потрапляють на вхід групового вимірювального перетворювача А614-7/3 а далі на вхід ТОЗО.

Температура підшипників знаходиться не прямим методом, за допомогою вимірювання температури кришки підшипників і подальшою її зміною на величину поправки.

Пристрій для вимірювання температури малого підшипника складається із термоелектричного перетворювача, який встановлений в стакані із немагнітного матеріалу. Термоелектричний перетворювач закріплюється в кришці малого підшипника за допомогою постійного магніту. Для кращого контакту з поверхнею яка контролюється стакан прижимається до неї за допомогою пружини.

Кінці хромель-копільових проводів термоелектричного перетворювача під'єднуються до термо-компенсаційного приводу, який захищений від механічного пошкодження гнучким металічним рукавом.

Конструкція для вимірювання температури великого підшипника аналогічна пристрою для вимірювання температури малого підшипника і відрізняється тільки меншими габаритами, для можливості встановлення його на кришку підшипника. Така конструкція пристроїв для вимірювання температури може бути змінена в залежності від розмірів та конфігурації постійного магніту.

Оцінка ступені іскріння (класу комутації) виконується спеціальним прибором, принцип дії якого заснований на явищі виникнення електромагнітних коливань при порушеннях комутації і вимірюванні змінного напрямлення високої частоти зі щіток ТЕД.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Зі збільшенням ступені іскріння, амплітуда цих коливань напруг збільшується і через фільтр надходить на вхід ТОЗО. На вході прибору встановлені розділювальні конденсатори, які не пропускають постійну складову напруги.

Вимірювання биття колектора знаходиться серійним пристроєм, призначеним для контролю лінійних переміщень (модель 276). Прибор виконаний у вигляді електронного блоку з дистанційним підключеними перетворювачами. Принцип роботи пристрою складається в перетворенні механічного переміщення вимірювального наконечника перетворювача в пропорційну йому аналогову напругу.

Вихідна напруга потрапляє на вхід ТОЗО.

Вимірювання биття виконується одночасно трьома приборами, встановленими на одній лінії по твірній колектора.

Вимірювання ефективного значення вібраційної швидкості виконується за допомогою серійного приладу ВІП-2, що має вихідний електричний сигнал. Конструкція пристрою аналогічна пристрою для вимірювання биття. Відмінності полягають в заміні приладів для вимірювання биття на датчик для вимірювання вібрації. Схеми приладів наведені на рисунках 4.3 та 4.4.

Етапи випробувань ТЕД в умовах АСВ складаються із підготовки, проведення та завершення.

Підготовка випробувань включає:

- встановлення ТЕД на стенд взаємного навантаження;
- встановлення та підключення датчиків;
- перевірку готовності стенду;
- введення вихідних даних.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

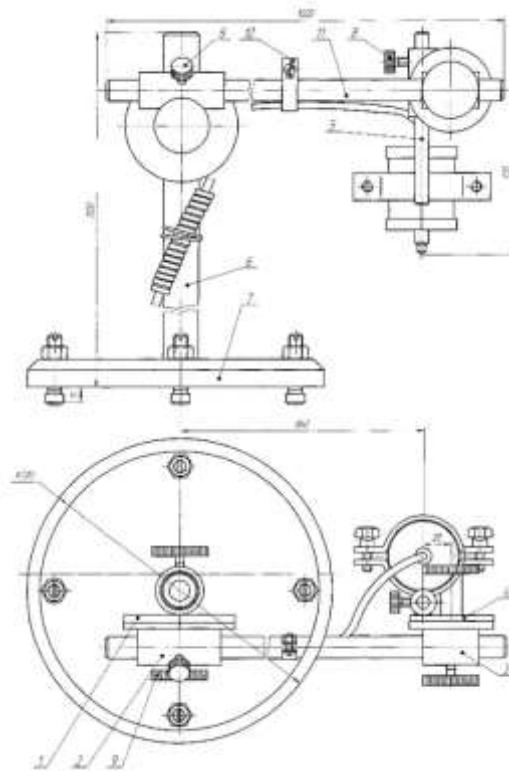


Рисунок 4.3 – Прилад для вимірювання вібрації ТЕД

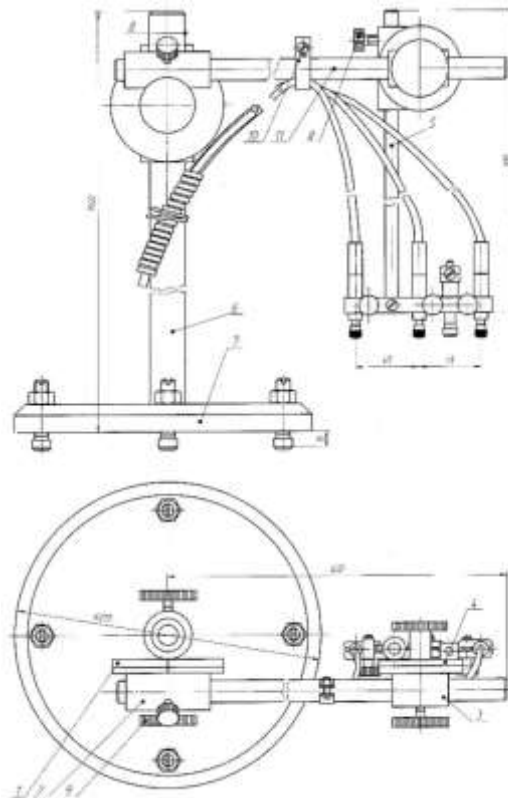


Рисунок 4.4 – Прилад для вимірювання биття колектора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

104

Після встановлення ТЕД на стенд встановлюються та підключаються датчики та вимірювальні перетворювачі напруги, струму, частоти обертання, комутації, температури колектора, підшипників. Схема підключення датчиків наведена на рисунку 4.5. Перевірка готовності АСВ до випробувань здійснюється автоматичним шляхом вмикання спеціальних тестових програм. Після отримання повідомлення про готовність стенду вводиться інформація, яка включає в себе тип і заводський номер ТЕД, номер якоря, вид ремонту, та ряд інших показників.

Після отримання від АСВ підтвердження про готовність, необхідно перейти до проведення випробувань.

При досягненні регулюючими параметрами заданого рівня, автоматично виконується вимірювання у відповідності з програмою випробувань. Отриманні значення виміряних та розрахованих параметрів зрівнюються з нормативними значеннями, після чого виробляється ознака придатності по даному виду випробувань.

Якщо фактичне значення параметра знаходиться в рамках допустимого, то АСВ заносить їх в пам'ять і протокол випробувань, а на дисплей виводиться інформація про закінчення виду (режиму випробувань) і здійснюється перехід до наступного виду випробувань по програмі.

Якщо параметри вийшли з рамок допустимого значення, видається повідомлення оператору на необхідність додаткового регулювання.

При необхідності випробування по жорсткій програмі можуть бути перервані та продовжені в залежності від команди оператора.

При несправності вимірювальної системи або інших елементів АСВ, повідомлення виводиться на екран дисплея, після чого аналізується ситуація, що виникла, яка усувається і продовжуються випробування по команді оператора.

Закінчення випробувань включає в себе:

- оформлення результатів випробувань;
- реєстрацію даних в архівові;

					<i>0032.190069.000.02MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		105

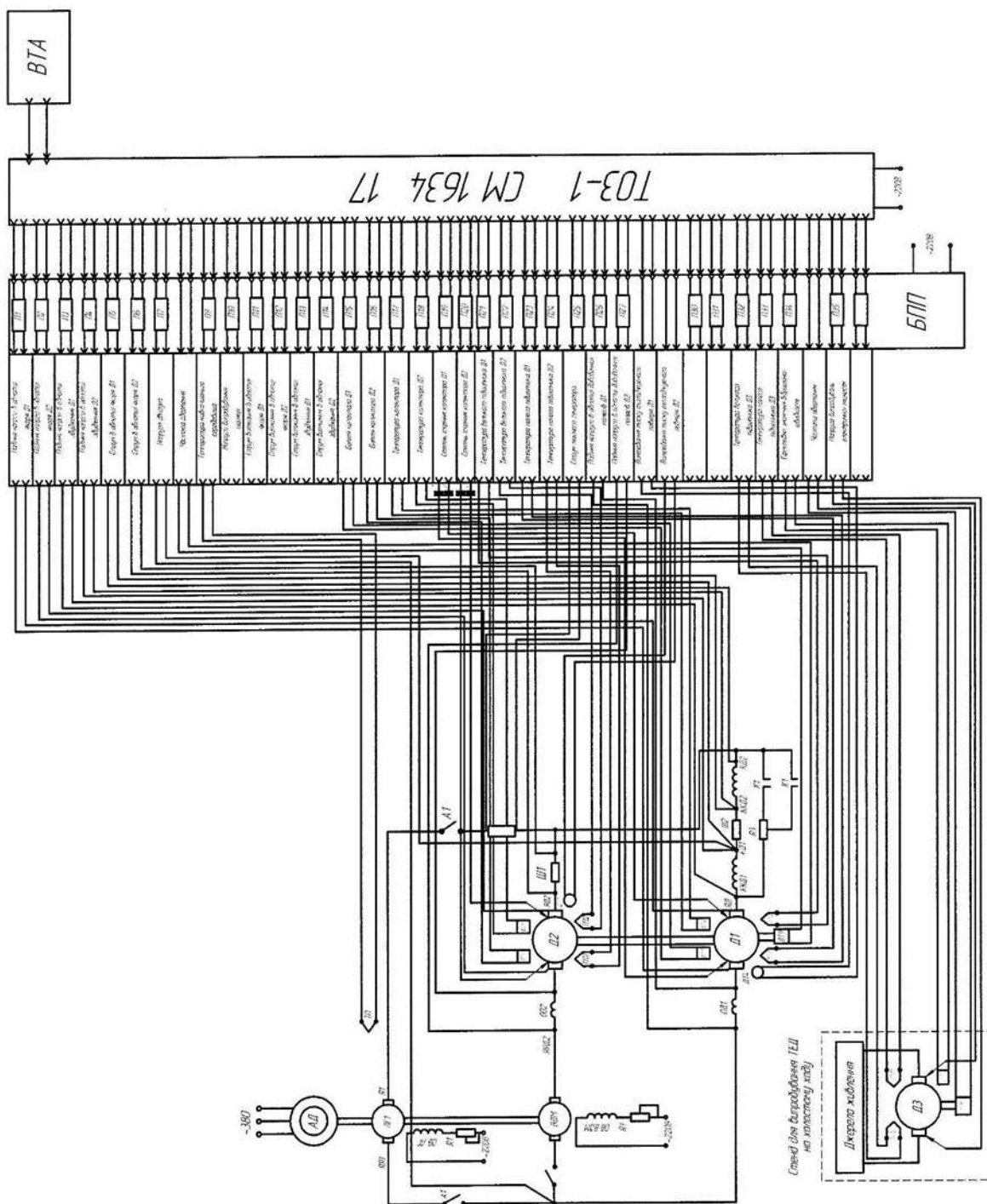


Рисунок 4.5 – Схема підключення датчиків при вимірюваннях

- відключення датчиків;
- демонтаж ТЕС зі стенду.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

Арк.

106

Після виконання усієї програми випробувань виміряні та розраховані значення параметрів ТЕД оформляються у вигляді протоколу, видаються на пристрій печаті та заносяться в архів на магнітних носіях. Якщо ТЕД не пройшов випробувань, в такому випадку формується аварійний протокол і робиться відповідний запис в архівові. Протокол видається після закінчення усіх видів випробувань або по команді оператора.

4.2 Пропозиції щодо вдосконалення системи автоматизованого вимірювання параметрів випробуваних ТЕД

В цілому АСВ не погано зарекомендувала себе при випробуванні ТЕД на стенді взаємного навантаження. Також існує практика застосування системи на вібраційних стендах, та стендах випробування ТЕД методом холостого ходу.

Для прискорення роботи програмного забезпечення АСВ пропонуємо замінити застарілі комп'ютери на сучасні, більш потужні персональні комп'ютери (ПК), зокрема ноутбуки, з сучасними рідкокристалічними моніторами. Це створить умови для встановлення нового програмного забезпечення та збільшить швидкість обробки інформації.

Встановлення нових ПК з підключенням їх до мережі Інтернет дозволить здійснювати запис інформації про результати випробувань у вигляді протоколу не тільки на жорсткий диск (ЖД) та флеш-накопичувачі, а також у хмарні сховища, що захистить інформацію та зробить її відносно незалежною від техніки, що використовується. Для друку доречно використовувати сучасні цифрові принтери.

На рисунку 4.6 представлений сучасний пульт управління випробувальною станцією із застосуванням персонального комп'ютера, моніторами та цифровим пристроєм печаті.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107



Рисунок 4.6 – Сучасний пульт управління випробувальною станцією

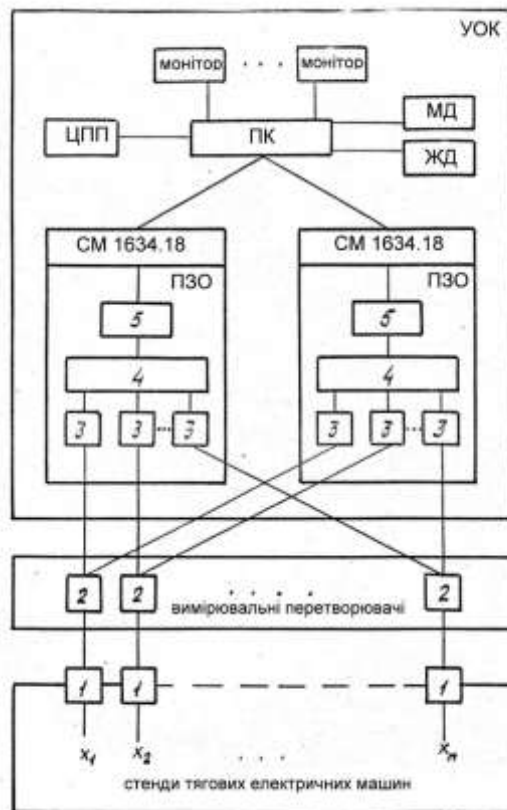


Рисунок 4.7 – Структурна схема технічних засобів вдосконаленої АСВ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.190069.000.02MP.ПЗ

На рисунку 4.7 приведена удосконалена структурна схема технічних засобів автоматизованої системи вимірювань, на якій відображено заміну застарілих ЕОМ на сучасні персональні комп'ютери, а відеотермінали ВТА на сучасні кольорові монітори.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі, метою якої було удосконалення заводського ремонту та випробування тягових електричних машин, запропоновано наступне:

– в першій частині роботи запропоновано впровадження технологічного обладнання з ремонту електричних машин та впровадження їх на ремонтні бази тепловозів, а саме стенд кантувач магнітної системи для всіх видів тягових генераторів ремонтуємих на заводі, модифікація якого дозволить повертатись на 180°. А також пропонується впроваджувати маніпулятори для збирання магнітної системи ТЕД. Впровадження цього обладнання дозволить суттєво прискорити процес ремонту тягових електродвигунів, зменшить витрати на людські ресурси, а отже собівартість ремонту також зменшиться;

– у другій частині роботи запропоноване впровадження технологічного обладнання для просочення та сушки елементів тягових електричних машин, а саме, пропонується впроваджувати на ремонтні бази сушильну піч, розміри якої відповідають розмірам існуючих частин генератора, наприклад таких як статор генератора ГС-501А, який вважається самою великою частиною вітчизняних електричних машин, а також впроваджувати ванни для просочення з такими габаритами як у статора генератора ГС-501А. Таке обладнання як установка для ультразвукового просочення якорів ТЕД також має важливу роль у процесі ремонту. Для визначення ефективності ультразвукового методу просочення були проведені експериментальні дослідження на якорях ТЕД. Отримані результати свідчать про те, що застосування ультразвукового методу просочення обмотки якорів ТЕД значно підвищує електричну міцність корпусної ізоляції;

– у третій частині роботи запропонована конструкція стенда для випробування тягових генераторів по методу взаємного навантаження з покриттям сумарних втрат механічним способом, що містить на загальному валу приводний тяговий електродвигун і два тягових генератори, що утворюють контур взаємного навантаження. Розраховано необхідна потужність для тягового двигуна та визначено, що двигун ЕД-118 потужністю 305 кВт підходить для даної установки. Також проведено удосконалення схеми стенда випробування тягових електродвигунів ЕД-118.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

Основні пристрої, що входять в електричну схему стенду, є лінійний генератор і вольтододаткові машини, що компенсують відповідно втрати холостого ходу й електричні втрати. У запропонованій схемі ці машини замінюються статичними перетворювачами. Перевагами даної автоматизованої системи для випробування тягових електродвигунів являються підвищення точності проведення випробувань за рахунок стабілізації режимів, автоматизація процесів випробувань, підвищення продуктивності випробувальної системи, покращення енергетичних та масо-габаритних показників, а також зменшення вібрації та шумності, можливість створення бази даних, як для одного, так і для всіх ТЕД, які пройшли випробування, що дає можливість з більшою вірогідністю спрогнозувати поведінку тягових електродвигунів під час експлуатації. Ще у цьому розділі було запропоновано схеми взаємного навантаження, які можуть розглядатися як множина альтернатив при вирішенні задачі вибору раціональної схеми випробування електричних машин тягового рухомого складу магістрального та промислового залізничного транспорту;

– у четвертій частині роботи приведено пропозиції щодо вдосконалення системи автоматизованого вимірювання параметрів випробуваних тягових електродвигунів, заміну застарілих ЕОМ на нове обладнання, що створить умови для встановлення нового програмного забезпечення та збільшить швидкість обробки інформації.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила ремонта электрических машин тепловозов ЦТ-ЦТВР 4677
2. Технологическая инструкция на сушку, пропитку, компаундировку обмоток электрических машин тепловозов 105.25000.002 75/89. – Полтава, 1989.
3. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В.В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. –252 с.
4. Красильников В.Н., Сердюк В.Н., Красильников М.В. Испытания и диагностика тяговых генераторов магистральных тепловозов. IC Международная конференция. Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава. Тезисы докладов конференции. – Днепропетровск, 1996.
5. Красильников М.В. Испытания тяговых генераторов магистральных тепловозов// Транспорт: Сборник научных трудов ДИИТа. – Выпуск 3. – Днепропетровск: Наука і освіта, 2000.-100с.
6. Боднарь Б.Е., Красильников В.Н., Красильников М.В. Разработка и внедрение стендов испытания электрических машин тепловозов. X Международная конференция. Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава. Тезисы докладов. - Днепропетровск, 2000.
7. ГОСТ 10662-73 — Вентили силовые полупроводниковые кремниевые неуправляемые. Общие технические условия
8. Афанасов А.М.: Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока: Монография / А.М. Афанасов – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 248с.

					0032.190069.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112