

МУХА А. М., д.т.н., доц. (ДНУЗТ)
БАЛІЙЧУК О.Ю. (ДНУЗТ)
СКОГАРСЬВ І.Є. (ДНУЗТ)

Аналіз роботи допоміжних електричних машин електропоїздів залізниць України

Вступ

Для перевезення пасажирів на лініях приміського сполучення призначені електропоїзди постійного та змінного струмів. Внаслідок коротких перегонів і великої інтенсивності руху в приміській зоні моторвагонний рухомий склад повинен забезпечувати високі прискорення розгону та гальмування і максимальні швидкості при якомога менших витратах електричної енергії та низькій ступені зносу гальмівних колодок.

Наразі на залізницях України широко застосовуються електропоїзди постійного струму серій ЕР-1, ЕР-2, ЕР-2Т, ЕД-2Т, ЕПЛ-2Т; та електропоїзди змінного струму серій ЕР-9, ЕР-9М, ЕПЛ-9Т. Вагони електросекцій складаються з механічної частини, а також розміщеного на ній електричного та пневматичного обладнання. До електричного обладнання, як правило, відносять: струмоприймачі, пускорегулюючу апаратуру, тягові двигуни, допоміжні машини та апаратуру захисту [1,10].

Мета роботи – провести дослідження особливостей конструкції та режимів роботи допоміжних електричних і представити основні експлуатаційної надійності показники в сучасних умовах.

Матеріал і результати дослідження

Допоміжними машинами називають агрегати, що складаються з привідного електродвигуна і власне допоміжної машини (компресора, вентилятора, насоса). Також до допоміжних машин відносять

електромашинні перетворювачі – мотор-генератори, подільники напруги, розщеплювачі фаз.

Допоміжні машини забезпечують нормальне функціонування електропоїзда, а тому повинні мати високу надійність в експлуатації, зберігати свою працездатність при коливаннях напруги на струмоприймачі в широких межах і бути захищеними від потрапляння до них пилу та снігу.

Для забезпечення нормальної роботи допоміжних машин при суттєвих відхиленнях напруги в контактній мережі їх привідні двигуни обираються із запасом по потужності в 1,5 ... 2,0 рази по відношенню до необхідної при номінальній нарузі.

На електропоїздах серій ЕР-1, ЕР-2 в якості приводних двигунів застосовуються двигуни постійного струму, живлення яких здійснюється від обертових перетворювачів - подільників напруги (динамоторів) з вихідною напругою 1500 В.

На електропоїзди типу ЕР-2Т, ЕД-2Т, ЕПЛ-2Т, ЕПЛ-9Т та ЕР-9 всіх модифікацій встановлюються для приводу допоміжних машин асинхронні двигуни із короткозамкненим ротором. Вони найбільш прості за конструкцією, дешеві та надійні в експлуатації. Однак для їх роботи потрібно мати трифазну змінну напругу. Для її отримання встановлюють електромашинні перетворювачі постійно-змінного струму, або фазорозщеплювачі [2, 3, 4].

Основні типи електричних двигунів, що застосовуються на електропоїздах в якості приводних двигунів допоміжних машин наведено в табл. 1.

Як видно з табл.1. в основному для приводу допоміжних машин застосову-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

ються електричні двигуни загальнопромислового виконання [5].

На електропоїздах постійного струму серій ЕР-1 та ЕР-2 для живлення мотор-компресорів застосовуються обертові подільники напруги (динамотори) типу ДК-604Б (на електропоїздах ЕР-1) та ДК-604В (на електропоїздах ЕР-2) [2, 6]. Динамотори, крім функції поділу напруги живлення, призначені також для привода генератора керування, який розташовується з ним на одному валу і являють собою чотириполюсну машину змішаного збудження з додатковими полюсами, двома колекторами і двома обмотками якоря, що з'єднано послідовно. Названі подільники напруги конструктивно подібні. Їх порівняльна характеристика представлена в табл.2.

Для живлення допоміжних кіл, обмоток збудження тягових двигунів при електричному гальмуванні і кіл керування на електропоїздах типу ЕР-2Т, ЕД-2Т та ЕПЛ-2Т встановлено перетворювач типу 1ПВ.6, який складається із двигуна і синхронного генератора. Двигун призначений для приведення в рух ротора синхронного генератора і являє собою одноколекторну чотириполюсну машину постійного струму із змішаним збудженням і самовентиляцією. Синхронний генератор перетворювача є трифазною шестипольною синхронною машиною [7]. Технічні характеристики перетворювача 1ПВ.6 наведено в табл.3.

Таблиця 1

Технічні дані двигунів допоміжних машин

Показники	Технічні показники двигунів типу								
	548А	АИР132М4	ДК-409В	АОММ-32-4	АОММ-22-2	П-11	П-31	П-31М	П-41
Потужність, кВт	5	11	5	1,4	1,15	0,5	0,7	0,75	1,2
Рід струму	3~	3~	=	1~	1~	=			
Номінальна напруга, В	220	380	1500	220	220	50	110	110	50
Номінальний струм, А	28	23	3,3	6,4	4,4	8,7	8,7	9,6	-
Частота обертання, об/мин	975	1440	1020	1500	3000	2800	1000	1000	1200

Таблиця 2

Порівняльна характеристика подільників напруги ДК-604Б та ДК-604В

Параметри	Тип подільника напруги			
	ДК-604Б		ДК-604В	
	Динамотор	Генератор	Динамотор	Генератор
Номінальна напруга, В	3000	50	3000	50
Потужність, кВт	10,4	8,5	12	10
Струм якоря, А	4,7	170	5,3	200
Частота обертання, об/хв	950		1000	
Тип збудження	змішане	паралельне	змішане	паралельне
Маса, кг	1200		1200	

Технічні характеристики перетворювача 1ПВ.6

Параметри	1ПВ.6/двигун	1ПВ.6/генератор
Номінальна напруга, В	3000	230
Потужність, кВт	50	38
Струм, А	19,2	120
Частота обертання, об/хв.	1000	1000
Тип збудження	змішане	незалежне
Маса, кг	1980	

На електропоїздах змінного струму для отримання трифазної змінної напруги застосовують розщеплювачі фаз. Перетворення однофазної напруги в трифазну в фазорозщеплювачі ґрунтується на властивості обертового магнітного потоку асинхронного двигуна наводити в трифазній статорній обмотці електрорушійні сили, зсунуті в часі відповідно до розташування обмоток на статорі. Розщеплювач фаз конструктивно подібний асинхронному двигуну з короткозамкненим ротором, виконаним у ви-

гляді подвійної білячої клітки. На електропоїздах серій ЕР-9М, ЕПЛ-9Т використовується розщеплювач РФ-1Д5. Він розрахований на напругу 220В, яку прикладено до його двигунних обмоток від допоміжної обмотки тягового трансформатора. Нормальна робота розщеплювача забезпечується при коливаннях напруги живлення в межах 175...242 В. Допустимим є короткочасне перевищення напруги до 275 В [2]. Технічні характеристики фазорозщеплювача РФ-1Д5 наведено в табл.4.

Таблиця 4

Технічні характеристики фазорозщеплювача РФ-1Д5

Показники	Фазорозщеплювач РФ-1Д5
Напруга вхідна однофазна, В	220
Напруга вихідна трифазна, В	220
Потужність, кВт	18
Струм мережі, А	185
Частота обертання, об/хв.	1470
Частота мережі, Гц	50

Надійна робота допоміжних електричних машин залежить від правильного алгоритму спрацювання схем запуску. Нерідко в експлуатації зустрічаються передчасний вихід з ладу цих машин через затяжні пуски, або неправильну роботу кіл захисту. Без проведення в повному обсязі технічного обслуговування та поточних ремонтів надійна робота допоміжних машин неможлива.

Для допоміжних машин електрорухомого складу характерні досить важкі умови роботи. Перетворювачі та фазорозщеплювачі мають тривалий режим

роботи – тобто працюють весь час, доки електропоїзд знаходиться в роботі. Мотор-компресори та мотор-вентилятори мають повторно-короткочасний режим роботи, тривалість робочого періоду в якому наближається до 50%.

Однак, складність робочих режимів допоміжних машин електропоїздів полягає не тільки в тривалості часу їх роботи. Значного впливу на надійність цих агрегатів спричиняють алгоритми їх роботи та якість живлячої енергії. Зокрема напруга живлення є найважливішим фактором, що впливає на їх безвідмовну роботу.

Тягові мережі електричних залізниць характеризуються великими коливаннями напруги. Це суттєво впливає на роботу допоміжних машин тим більше, що на напругу допоміжної обмотки тягового трансформатора (на рухомому складі змінного струму) здійснюють також вплив процеси, що відбуваються в силових і допоміжних колах електропоїзда. Для моторних вагонів при номінальній напрузі 220 В межі коливання напруги приблизно складають 150 ... 280 В.

При збільшенні напруги частота обертання асинхронного двигуна і потужність на його валу практично не змінюються. Тому активний струм, споживаний машиною, змінюється обернено пропорційно збільшенню напруги. Струм намагнічення, навпаки, різко зростає внаслідок насичення магнітної системи. При зниженні напруги активний струм збільшується, а намагнічуючий – зменшується. Тому струм, який машина споживає з мережі, при деякому значенні напруги має мінімальне значення, а при її збільшенні або зменшенні – збільшується.

Частота обертання машин постійного струму визначається напругою на колекторі, яка обумовлена значенням напруги на струмоприймачі, а також залежить від тягового навантаження електрорухомого складу (ЕРС).

Максимальна напруга на колекторі може бути майже вдвічі більше за мінімальну. Тому коливання швидкості і потужності допоміжних машин постійного струму, а відповідно і продуктивність допоміжних механізмів при коливаннях напруги буде значною на відміну від асинхронних двигунів [8]. Цим пояснюється тенденція до зростання кількості допоміжних механізмів, приводимих в рух асинхронними двигунами, на ЕРС як змінного, так і постійного струму.

Однак, на електропоїздах постійного струму серій ЕР-1 та ЕР-2 для приводу компресорів, які забезпечують стисненими повітрям гальмівну магістраль та системи

керування поїздом, застосовують двигуни постійного струму послідовного збудження. Вони, у порівнянні з іншими видами двигунів, мають високий пусковий момент та значну перевантажувальну здатність. Характерними для їх роботи є часті пуски. Пуски відбуваються під навантаженням, обумовленим залишковим тиском в гальмівній магістралі, а також ступінню в'язкості масла в картері компресора. Для залізниць електрифікованих постійним струмом можливі відхилення значення напруги в контактній мережі від номінального в діапазоні 2,4...4,0 кВ. З метою реалізації необхідної потужності при живленні від мережі з неномінальними значеннями напруги двигуни обирають із заздалегідь завищеною потужністю. Проте таке конструктивне рішення не завжди забезпечує обмотки двигунів від ушкодження. Відхилення напруги від номінальних значень спричинює протікання по обмоткам струмів більших за номінальні. Це призводить до передчасного старіння ізоляції обмотки якоря. І як результат може стати причиною виходу двигуна з ладу, його позапланового ремонту або заміни. Існуючі системи захисту цих двигунів досі не є досконалими і допускають роботу агрегатів у ненормальних режимах.

На електропоїздах серій ЕР-2Т, ЕД-2Т ЕПЛ-2Т, ЕР-9М, ЕПЛ-9Т для приводу компресора застосовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які є більш надійніші і дешевші в експлуатації. Схема увімкнення привода компресора на названих електропоїздах не передбачує плавності пуску двигуна. При прямому пуску асинхронного двигуна струм, що протікає в його статорній обмотці сягає $(5...7) \cdot I_{ном}$. При відхиленнях напруги в контактній мережі від номінального значення час пуску збільшується, тривалий час при цьому по обмотках двигуна можуть протікати струми значно вищі за номінальні. Як і у випадку з двигуном постійного струму це призводить до систематичного перегрівання ізоляції

обмоток двигунів і як результат передчасного її старіння.

Температурний режим навколишнього середовища також суттєво впливає на механічні характеристики механізмів і вимоги до пускових властивостей відповідних електродвигунів. По мірі зниження температури в результаті збільшення в'язкості мастила збільшується момент опору механізму та момент тертя приводного двигуна. Найбільш суттєвим цей вплив є у двигунів поршневих мотор-компресорів, в яких початковий момент опору і так достатньо великий, через те що вони мають значні площі поверхонь тертя. Зміна температури навколишнього повітря чинить на момент опору агрегату мотор-компресора значний вплив, який необхідно враховувати при виборі потужності приводного двигуна за умовами пуску [8, 9].

Також з точки зору механічних впливів електродвигуни допоміжних машин працюють в далеко не ідеальних умовах. Так, в робочому середовищі цих агрегатів присутні: вібрації, поштовхи, які притаманні для рухомого складу; великий діапазон робочих температур повітря -50°C ... $+40^{\circ}\text{C}$ (для машин, встановлених поза кузовом) і -50°C ... $+60^{\circ}\text{C}$ (для двигунів, що працюють всередині кузова ЕРС), висока вологість понад 95%, можливість випадіння роси і утворення водяного конденсату.

Всі вищезазнані причини можуть привести до передчасного виходу з ладу приводних електричних двигунів в системах допоміжних машин ЕРС.

З метою визначення надійності роботи існуючих систем допоміжних машин ЕРС в реальних умовах було проведено аналіз технічного стану електропоїздів залізниць України за 2009 – 2012 р.р., за основу якого взято офіційну статистику Головного управління приміських пасажирських перевезень.

Основними серіями електропоїздів, що експлуатуються на Укрзалізниці на сьогодні, є:

Поїзди постійного струму: ЕР1, ЕР2, ЕР2Т, ЕР2Р, ЕТ2, ЕД2Т, ЕД4М, ЕПЛ2Т;

Поїзди змінного струму: ЕР9, ЕР9П, ЕР9Е, ЕР9М, ЕР9ЕТ, ЕР9Т, ЕД9М, ЕПЛ9Т.

Протягом 2008 – 2012 р.р. у зв'язку із старінням парку моторвагонного рухомого складу (МВРС) на залізницях України проводять щорічні роботи по виконанню капітальних ремонтів в умовах ремонтних заводів електропоїздів серій ЕР1, ЕР2, ЕР9П, ЕР9М з подовженням терміну служби та відновлювальних ремонтів в умовах моторвагонних депо. З 2010 року введені в дію технічні умови, що дозволяють продовжити термін служби електропоїздів названих серій до 50 років. Особлива увага під час виконання капітальних ремонтів в депо та на ремонтних заводах приділяється приведенню санітарно-гігієнічного та культурного стану обладнання салонів до належного рівня.

Залишається незмінною тенденція щодо старіння МВРС. Станом на 2009 – 2012 р.р. не було придбано жодної секції електропоїздів. Також з 2012 року спостерігається динаміка зменшення виділення фінансування на виконання капітальних ремонтів та модернізації електропоїздів.

Основними показниками технічного стану МВРС серед інших є: кількість заходів на неплановий ремонт, та простої на поточних і непланових видах ремонтів. Кількісні показники технічного стану МВРС за вказаний період наведено в табл. 5.

Графік зміни кількості непланових ремонтів МВРС за вказаний період представлено на рис.1.

З рис. 1 видно, що кількість заходів МВРС на неплановий ремонт по Укрзалізниці величина не постійна. Так, в 2009 році у порівнянні з 2008 роком кількість зменшилась на 15 випадків, в 2010 році – зросла на 24 випадки, в 2011 знову зменшилась на 17 випадків і в 2012 році – зросла на 9 випадків заходів на неплановий ремонт у порівнянні із попередніми роками. Проте середня кількість випадків заходу на неплановий ремонт сягає 205 випадків непланових ремонтів на рік.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

Таблиця 5

Кількісні показники якості технічного стану МВРС Укрзалізниці за 2008 – 2012 р.р.

Показники	Роки				
	2008	2009	2010	2011	2012
Кількість непланових ремонтів, шт.	208	193	217	200	209
Час простоїв на непланових ремонтах, год	25899,8	26869,8	28356,8	29543	28770,6

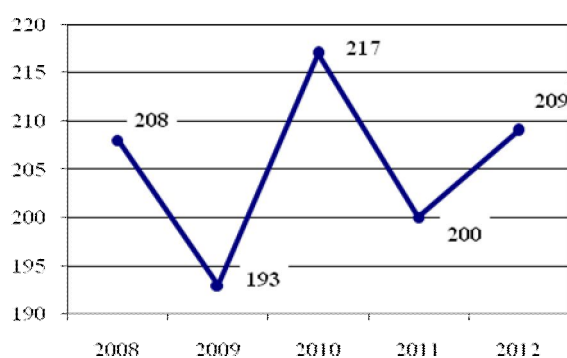


Рис. 1. Кількість непланових ремонтів МВРС за 2008 – 2012 р.р.

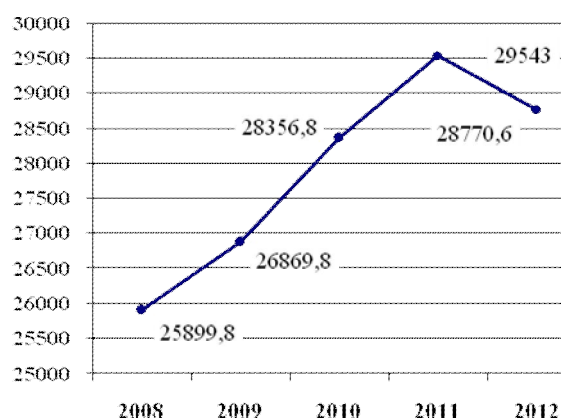


Рис. 2. Розподіл часу простоїв на позапланових ремонтах МВРС за 2008 – 2012 р.р.

Графічно розподіл часу простоїв на непланових ремонтах МВРС за вказаний період наведено на рис.2.

Як видно з рис.2. в 2009 році загальний час простою МВРС на позаплановому ремонті зріс на 970 год у порівнянні із 2008 роком, в 2010 році – зріс ще на 1487 год, в 2011 році збільшення часу простою склало 1186,2 год у порівнянні із попереднім роком, в 2012 році час простою зменшився на 772,4 год у порівнянні із 2011 роком. Середнє значення загального часу простою на непланових ремонтах МВРС по Укрзалізниці за 2008 – 2012 р.р. складає 27888 годин на рік.

Кількість непланових ремонтів МВРС, викликаних несправностями допоміжних машин протягом 5 останніх

років в цілому по Укрзалізниці становила в середньому 2,034% від загальної кількості випадків позапланових ремонтів. Розподіл таких непланових ремонтів за роками наведено в табл.6.

Таблиця 6

Кількість позапланових ремонтів МВРС, викликаних несправностями допоміжних машин

Показники	Роки				
	2008	2009	2010	2011	2012
Кількість позапланових ремонтів, %	0,96	1,55	2,76	2,5	2,4
Кількість позапланових ремонтів, шт	2	3	6	5	5

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

В табл. 7 наведено розподіл позапланових ремонтів МВРС, спричинених несправностями допоміжних машин, за видами машин.

Як видно з табл.7, основними причинами в переважній більшості постановки МВРС в позаплановий ремонт є несправності фазорозчеплювача. В середньому за рік відбувається 5 позапланових ремонтів електропоїздів, через несправності фазорозчеплювача.

Однак, не завжди несправність певної допоміжної машини змушує ставити потяг на ремонт. Частіше за все несправність виявляють в межах проведення поточних ремонтів (ПР) і терміново виконують заміну несправного агрегату.

Таблиця 7
Кількість позапланових ремонтів МВРС за видами допоміжних машин

Найменування допоміжних машин	Роки				
	2008	2009	2010	2011	2012
Мотор-вентилятор	0	0	0	0	0
Мотор-компресор	0	0	0	0	0
Фазорозчеплювач	2	3	6	4	5
Динамотор	0	0	0	1	0
Всього	2	3	6	5	5

Таблиця 8
Кількість непланових замін допоміжних машин

Роки	2008	2009	2010	2011	2012
Кількість замін, шт	368	354	632	591	612

За даними табл.8 побудуємо графік розподілу кількості замін допоміжних машин за роками.

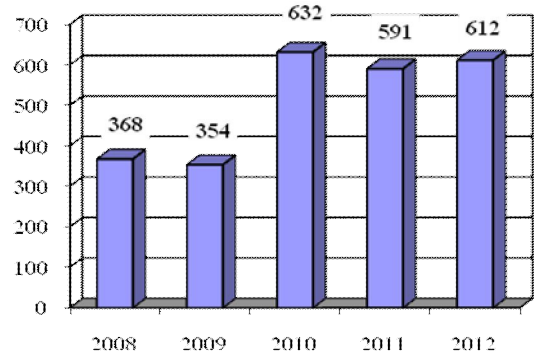


Рис. 3. Кількість позапланових замін допоміжних машин електропоїздів по Укрзалізниці протягом 2008 – 2012 р.р.

Як видно із гістограми, наведеної на рис.3, протягом останніх 5 років кількість непланових замін допоміжних машин по Укрзалізниці коливалася в широких межах. В 2009 році відбувався спад інтенсивності замін у порівнянні із попереднім роком на 14 випадків – 354 у 2009 р. проти 368 у 2008 р.; в 2010 р. спостерігається стрімке зростання кількості непланових замін допоміжних машин на 278 випадків, що в 1,8 рази більше ніж в попередньому році; протягом 2011 року відбувався спад кількості позапланових замін несправних допоміжних машин – загальна кількість заміненних машин зменшилась на 41 одиницю в порівнянні із 2010 роком і в 2012 році відбувся приріст кількості замін обладнання на 21 одиницю у порівнянні із попереднім роком. Середня кількість заміненних позапланово щорічно допоміжних машин складає в цілому по Головному управлінню приміських пасажирських перевезень 511 штук допоміжних машин щорічно.

Висновки

В сучасних умовах інтенсивної експлуатації електропоїздів для підвищення показників експлуатаційної надійності слід більше приділяти уваги дотримання режимів роботи електрообладнання, що дозволить зменшити виходу з ладу цього обладнання. Для цього у склад систем живлення та керування можуть бути

введені пристрої, які забезпечать дотримання цих режимів та покращення показників якості живлючої напруги допоміжних машин.

Список літератури:

1. Электропоезда. Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. / З.М. Рубчинский, С.И. Соколов, Е.А. Эглон, Л.С. Лынюк. – М.: Транспорт, 1983. – 415с.

2. Электропоезда. Механическая часть, тяговые двигатели и вспомогательные машины. Системы обслуживания и ремонта / В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, М.И. Озеров, В.Н. Ротанов, А.А. Рубцов, Е.К. Рыбников, Я.И. Шур. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2000. – 200 с.

3. Электропоезд ЭПЛ2Т. Руководство по эксплуатации. Часть 1. Описание и работа: 1115.00.00.000РЭ / Публичное акционерное общество «Лугансктепловоз. – Луганск, 2001. – 97 с. – Инв.№ 6575/2.

4. Электропоезд ЭПЛ9Т. Руководство по эксплуатации. Часть 1. Описание и работа: 1210.00.00.000РЭ / Публичное акционерное общество «Лугансктепловоз. – Луганск, 2001. – 92 с. – Инв.№ 9368/2.

5. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам: в 2 томах. Т1 / И.П. Копылов, Б.К. Клоков. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

6. Барский, М.Р. Электропоезд ЭР1 / М.Р. Барский, В.О. Колесниченко, Е.С. Кастер. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1958. – 166 с.

7. Пегов, Д.В. Руководство по устройству электропоездов серии ЭТ2, ЭР2Т, ЭД2Т, ЭТ2М / Д.В. Пегов, П.В. Бурцев, В.Е. Андреев. – М.: Центр Коммерческих Разработок, 2003. – 184 с.

8. Некрасов, О.А. Вспомогательные машины электроподвижного состава переменного тока. – М.: Транспорт, 1967. – 168 с.

9. Устименко, Д.В. Аналіз впливу зміни режиму роботи на ступінь нагріву ізоляції обмотки якоря електродвигуна по-

ршневого компресора / Д.В. Устименко, Р.В. Краснов, А.В. Мазур // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42 – С.138 – 141.

10. Partington, W. Design features of auxiliary electrical machines for rolling stock / W. Partington, G.E. Clarke, // Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of . – Manchester, U.K., 1972. - Volume:119 , Issue: 6, pp. 724 – 733.

Анотації:

У статті представлено результати аналізу парку допоміжних машин електропоїздів Укрзалізниці, проведено порівняння технічних характеристик електричних двигунів, фазорозщеплювачів, подільників напруг і генераторів, що застосовуються на електропоїздах основних серій різних років побудови. Проаналізовано технічний стан рухомого складу з точки зору показників надійності роботи допоміжних машин.

Ключові слова: електричний двигун, допоміжні машини, електропоїзд, фазорозщеплювач, подільник напруги, генератор, показники надійності роботи допоміжних машин.

В статье представлены результаты анализа парка вспомогательных машин электропоездов Укрзалізниці, проведено сравнение технических характеристик электродвигателей, фазорасщепителей, делителей напряжения и генераторов, применяемых на электропоездах основных серий разных годов постройки. Проанализировано техническое состояние подвижного состава с точки зрения показателей надежности работы вспомогательных машин.

Ключевые слова: электрический двигатель, вспомогательные машины, электропоезд, фазорасщепитель, делитель напряжения, генератор, показатели надежности работы вспомогательных машин.

The article presents results of an analysis of the park of auxiliary electric machines of trains of Ukrainian Railways, was made a comparison of technical characteristics of electric motors, splitters of phase, voltage dividers and generators used on trains of the main series of different years of construction. Analyzed the technical condition of the rolling stock in terms of reliability indices of auxiliary machines.

Keywords: electric motor, auxiliary machines, electric train, splitter of phase, voltage divider, generator, reliability indices of auxiliary machines.