

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

Faculty *“Transport engineering”*

Department *“Management and Operation of Rolling Stock”*

EXPLANATORY NOTE
to Master’s Thesis

master

on the topic: **“Modernization of power transmission of diesel locomotive
2TE116”**

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

Done by the student of the group *LG2421*:

Artur KHIT

Scientific Supervisor: Mykhaylo KAPITSA

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2026

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: *«Транспортна інженерія»*

Кафедра: *«Управління та експлуатація рухомого складу»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Освітня програма: *«Локомотиви та локомотивне господарство»*

Спеціальність: *273 «Залізничний транспорт»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедрою _____ Борис БОДНАР

«____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту групи ЛГ2421

Хітю Артуру Романовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Модернізація передачі потужності тепловоза
2ТЕ116
Керівник роботи: Капіца Михайло Іванович, д.т.н., професор
Затверджена наказом по університету від «02» жовтня 2025 р. №1401ст
2. Строк подання студентом роботи: «11» січня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи: розрахункова дотична сила тяги – 496 кН; розрахункова швидкість – 24,2 км/год; тривала сила тяги одного КМБ – 41 кН.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
 - 4.1 Огляд та аналіз електричних передач потужності з машинами змінного струму
 - 4.2 Модернізація передачі потужності тепловоза 2ТЕ116
 - 4.3 Тягові розрахунки при визначенні ефективності модернізації електричної передачі

5. Перелік графічного матеріалу:

- 5.1 Варіанти електричної передачі з безколекторними тяговими електродвигунами
- 5.2 Регулювальні характеристики трифазного синхронного генератора при різному коефіцієнті потужності приймачів. Схема трифазного синхронного генератора з самозбудженням
- 5.3 Механічні характеристики асинхронного електродвигуна.
Перераховані електромеханічні характеристики електродвигуна
- 5.4 Електромеханічні характеристики ТЕД. Електротягові характеристик КМБ
- 5.5 Тягова характеристика тепловоза
- 5.6 Діаграма питомих рівнодіючих сил. Результати розв'язання гальмівної задачі
- 5.7 Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Обсяг розділу, %
1	Огляд та аналіз електричних передач потужності з машинами змінного струму	16.11.2025	30
2	Модернізація передачі потужності тепловоза 2ТЕ116	14.12.2025	30
3	Тягові розрахунки при визначенні ефективності модернізації електричної передачі	11.01.2026	40
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	11.01.2026	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	20.01.2026	

Студент _____ Артур ХІТЬ

Керівник роботи _____ Михайло КАПЦА

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Модернізація передачі потужності тепловоза 2TE116» складається з 79 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 3 розділи. Робота містить 27 ілюстрацій, 10 таблиць та список літературних джерел з 16 найменувань.

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступає тепловоз серії 2TE116, а метою роботи – комплексна його модернізація.

У магістерській дипломній роботі розглянуто основні напрями з модернізації тягового рухомого складу нашої та інших країн. При огляді різносторонніх варіантів модернізації тягового рухомого складу з урахуванням браку тепловозів наявного парку Укрзалізниці для забезпечення пасажирського руху, в магістерській роботі запропонована модернізація передачі потужності на базі тепловоза серії 2TE116 – удосконалення електричної передачі тепловоза серії 2TE116 з асинхронними тяговими двигунами. Обрано тип трифазного асинхронного двигуна, який забезпечить тепловоз необхідними тяговими властивостями. Виконали розрахунок технічних характеристик базового й проектного тепловозів, а саме визначено основні параметри тепловозів, параметри тягового осьового редуктора, розраховано електротягові характеристики колісно-моторних блоків тепловозів, побудовано тягові характеристики.

На підставі результатів розрахунків виконано порівняння тягових властивостей базового й проектного тепловозів інтегральною оцінкою тягових характеристик. Економічну ефективність доведено тяговими розрахунками. Можна стверджувати, що використання асинхронних тягових електродвигунів потужністю 315 кВт у сукупності з інверторною системою керування в приводі тепловоза серії 2TE116 може значно підвищити як тягові так і економічні властивості тепловоза.

Ключовими словами в кваліфікаційній роботі виступають: удосконалення, електрична передача, асинхронний, тяговий, двигун, тепловоз, тягова характеристика.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ ПОТУЖНОСТІ З МАШИНАМИ ЗМІННОГО СТРУМУ	8
1.1 Передачі потужності змінно-змінного струму	8
1.2 Тягові електродвигуни змінного струму та їх конструкція.....	12
1.3 Тягові вентильні двигуни.....	22
1.4 Тягові трифазні синхронні генератори, їх конструкція та характеристики	24
1.5 Особливості застосування синхронних генераторів в передачах змінного струму тепловозів.....	30
1.6 Електрична передача з полюсно-перемикаючими двигунами.....	33
1.7 Дослідні зразки тепловозів і електровозів з машинами змінного струму	36
2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОВОЗА 2ТЕ116	43
2.1 Вибір тягового електродвигуна для модернізованої передачі.....	43
2.2 Розрахунок технічних характеристик базового тепловоза.....	45
2.3 Розрахунок технічних характеристик проектного тепловоза	54
2.4 Порівняння тягових властивостей тепловозів	58
3 ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ.....	60
3.1 Спрявлення профілю колії	60
3.2 Визначення розрахункового підйому	60
3.3 Розрахунок маси складу	60
3.3 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил.....	63
3.4 Вирішення гальмівної задачі	64

					<i>0032.240131.000.03MP.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	<i>Хіть</i>				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	<i>Капіца</i>				Н	5	79
Реценз.					<i>УДУНТ, зр. ЛГ2421</i>		
Н. Контр.	<i>Колодій</i>						
Затверд.	<i>Баднар</i>						
					<i>Модернізація передачі потужності тепловоза 2ТЕ116</i>		

3.5 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму.....	70
3.6 Визначення витрат енергоресурсів локомотивом	71
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	77

					<i>0032.240131.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

Українські залізниці стикаються з потребою оновлення парку локомотивів, що робить актуальним питання їх модернізації. Від успішного вирішення цього завдання багато в чому залежить ефективна робота всього залізничного транспорту та його роль в економіці країни. Світовий досвід свідчить, що оновлення парку можна здійснювати не лише через закупівлю нової техніки, але й шляхом модернізації існуючих локомотивів з подовженням їх строку служби. Цей шлях часто є більш доступним, оскільки повна заміна старого тягового рухомого складу на новий є надто витратною для багатьох компаній.

Таким чином, модернізація часто стає основним, а іноді й єдиним варіантом, однак її реалізація потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування для кожної конкретної серії локомотивів. Застосування сучасних технологій під час оновлення тягового рухомого складу, в свою чергу, вимагає розробки цілком нових підходів до технічного обслуговування, ремонту, а також організації постачання матеріалами та запчастинами. За своєю складністю та впливом на всю систему такий процес не поступається переходу на абсолютно нову техніку і вимагає спільних значущих зусиль від усіх залучених сторін – замовників, виробників та підрядних організацій.

Окремим важливим напрямом роботи є програма зі зниження експлуатаційних витрат на паливо, яка реалізується через наукові дослідження та практичні розробки. З одного боку, це створення і впровадження спеціальних технічних засобів, що дозволяють впливати на середню витрату палива, знижуючи його питоме споживання. Як приклад таких засобів можна назвати електронні регулятори частоти обертання вала дизеля та потужності дизель-генераторних установок тепловозів. З іншого боку, це комплекс організаційних заходів, спрямованих на вдосконалення планування, нормування, обліку витрати енергоресурсів і контролю за дотриманням встановлених нормативів.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ ПОТУЖНОСТІ З МАШИНАМИ ЗМІННОГО СТРУМУ

1.1 Передачі потужності змінно-змінного струму

Експлуатація серійних тепловозів з передачею постійного і змінно-постійного струму показує, що тяговий електродвигун є одним з найменш надійних вузлів електроустаткування. Основні несправності їх пов'язані з пошкодженням колектора, щіток та ізоляції, а головними причинами їх пошкодження є механічні, електричні і теплові перевантаження, що виникають внаслідок вібрації, буксування, забруднення повітряних фільтрів в системі охолодження, забруднення і зволоження охолоджуючого повітря і т. д.

Надійність роботи тягових електродвигунів постійного струму в передачах змінно-постійного струму істотно знижується внаслідок пульсацій випрямленої напруги: погіршуються умови комутації, збільшуються втрати і т. д. Тому тяговий синхронний генератор виготовляють трифазним з двома статорних обмотками, одна з яких зрушена щодо іншої на 30 ел . градусів. Кожна обмотка приєднується до окремого трифазному випрямного мосту випрямної установки тепловоза. Тому пульсація напруги на тягових електродвигунах не перевищує 6-7% від номінального значення напруги.

Подальше застосування колекторних тягових електродвигунів постійного струму на локомотивах вважається малоефективним, скрутним і тому безперспективним.

Створення нових передач потужності змінно-змінного струму для тепловозів можливо по наступним відомими схемами, представленим на рис. 1.1.

Найпростіша передача змінного струму (рис. 1.1, а) складається з синхронного генератора СГ і декількох асинхронних короткозамкнених електродвигунів АД і є «прозорою», оскільки момент на валу двигунів пропорційний (якщо не враховувати зміну втрат) моменту на валу генератора.

Частота живлячої напруги в основному змінюється за рахунок зміни частоти обертання вала теплового двигуна. У разі потреби змінюють чисто полюсів

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

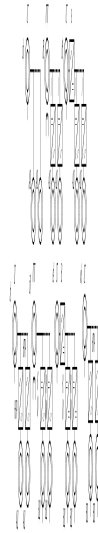


Рисунок 1.1 – Варіанти електричної передачі з безколекторними тяговими електродвигунами

генератора або електродвигунів. Перетворювачів передача не містить. Регулятори застосовуються в ланцюзі збудження генератора для регулювання його напруги.

Передача (рис. 1.1, б) містить генератор постійного струму ГПС, інвертори І та АД і вважається передачею постійно-змінного струму. Частота напруги змінюється інверторами І незалежно від частоти обертання вала генератора. В ланцюзі збудження генератора, як і в усіх інших варіантах, передбачається регулятор. Кожен інвертор має свою систему управління. Крім того, повинні бути передбачені індивідуальні регулятори частоти для кожного електродвигуна або групові для всіх двигунів або для декількох груп. Двигуни можуть бути приєднані кожен до окремого інвертора або паралельно на загальні шини.

Передача (рис. 1.1, в) відрізняється від попередньої тим, що ГПН замінений СГ і В, який може бути некерованим або керованим, індивідуальним для кожного інвертора або частіше загальним для всіх інверторів. Якщо випрямляч керований, додається система управління ним, яка або пов'язана з системою регулювання генератора або інвертора, або може бути передбачений окремий регулятор. Перетворювач, що складається з випрямляча та інвертора, називають перетворювачем частоти з ланкою постійного напруження. Система є передачею змінно-постійно-змінного струму. У системі (рис. 1.1, г) замість перетворювачів з ланкою постійного струму використані перетворювачі частоти з безпосереднім

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зв'язком вхідних і вихідних ланцюгів, які в подальшому для стислості називають безпосереднім перетворювачем частоти (БПЧ). У БПЧ відбувається процес випрямлення напруги з частотою, обумовленою генератором, і інвертування струму з частотою, що залежить від швидкості поїзда, який здійснюється одними і тими ж вентилями. Система управління такими перетворювачами значно складніше, ніж інверторами. Систему іноді називають передачею змінно-змінного струму.

Варіанти передач з вентилями двигунами (рис. 1.1, д, е, ж) за структурою аналогічні передачам з асинхронними двигунами і перетворювачами. Система (рис. 1.1) містить генератор постійного струму ГПС, вентильний комутатор К і електродвигуни ВД. В якості комутаторів можуть бути використані автономні інвертори, подібні застосовуваним для асинхронних двигунів і тому їх часто називають інверторами. Крім регуляторів, застосовуваних у аналогічних передачах з асинхронними двигунами, додаються регулятори збудження електродвигунів. За своїми властивостями та характеристиками система близька до передачі постійного струму і може бути зарахована до передач змінного струму лише тому, що використовуються двигуни, виконані конструктивно як синхронні.

У системі (рис. 1.1, ж) функції випрямляча і комутатора виконують безпосередні перетворювачі частоти БПЧ.

Розглянуті варіанти не вичерпують всіх можливих варіантів виконання передач змінного струму. Багато з представлених схем на рис. 1.1 були випробувані на макетних і дослідних зразках тепловозів і газотурбовози.

На початку двадцятого століття в Італії, Угорщині та інших країнах були побудовані і експлуатувалися електровози і електровагони з асинхронними електродвигунами. Але труднощі, пов'язані зі створенням трифазної контактної мережі і розміщенням громіздких перетворювальних пристроїв на рухомому складі, перешкодили в той час подальшого їх застосування.

З 1960 року минулого сторіччя роботи по застосуванню безколекторних електродвигунів стали вестись більш інтенсивно. Був побудований і випробуваний макетний турбопоїзд з «прозорою» енергетичною схемою

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

(рис. 1.1, а), в якому синхронний генератор приводився в дію від вертолітного двовального газотурбінного двигуна.

Змінна частота напруги генератора досягалася зміною частоти обертання ротора тягової турбіни. Для розширення діапазону зміни швидкості руху були застосовані двошвидкісні асинхронні короткозамкнені електродвигуни. На базі маневрового тепловоза ТГК2 був побудований макетний тепловоз потужністю 110 кВт, в якому синхронний генератор виконаний з перемиканням полюсів. Від синхронного генератора живилися два швидкісні асинхронні електродвигуни. Випробування обох макетних зразків показали працездатність передачі змінного струму.

Система передачі з випрямлячем, інверторами і асинхронними електродвигунами (рис. 1.1, в) отримала з передач змінного струму найбільше практичне застосування. У нашій країні були побудовані макетний тепловоз на базі маневрового тепловоза ВМЕ1 потужністю 400 кВт і макетний турбовагон потужністю 300 кВт, після докладних випробувань яких у 1973 р. на Луганський тепловозобудівний завод був виготовлений експериментальний односекційний тепловоз ТЕ120 потужністю 2950 кВт.

Для порівняльних випробувань безколекторні електродвигуни застосовувалися в макетних і дослідних електропоїздах різної потужності. В березні 1971 р. був побудований експериментальний електровоз ВЛ80А потужністю 9600 кВт.

У Німеччині роком раніше (в 1970 р.) за такою ж системою був побудований дослідний тепловоз ОЕ-2500 потужністю 1840 кВт, після випробувань якого було розпочато виробництво тепловозів цього типу. Надалі побудована партія дизель-контактних локомотивів ЕОЕ-1000/500 потужністю 1000 кВт при живленні від контактної мережі та 475 кВт - від дизеля, а також електровози Е-120 потужністю 5600 кВт і Е-1200 потужністю 6000 кВт.

У Швейцарії на базі електрообладнання тепловоза DE-2500 побудували партію маневрових-вивізних тепловозів Аш 6/6 потужністю 1840 кВт. У 1980 р. в США по тій же системі побудовані тепловози потужністю 2000 кВт.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За системою з безпосередніми перетворювачами і асинхронними електродвигунами побудований макетний тепловоз потужністю 440 кВт. У США був виготовлений за такою ж системою досвідчений тягач невеликої потужності з газотурбінним двигуном.

Система з безпосередніми перетворювачами і вентильними електродвигунами (рис. 1.1, ж) на тепловозах не знайшла ще практичного застосування. Побудовано три дослідних електровоза ВЛ80^в потужністю 8000 кВт з вентильними тяговими електродвигунами і перетворювачем з неявним ланкою постійного струму.

У США по системі, зображеній на рис. 1.1, ж, побудований експериментальний автомобіль невеликої потужності, а в Японії виготовлений електровагон з вентильними електродвигунами.

1.2 Тягові електродвигуни змінного струму та їх конструкція

В даний час силова напівпровідникова техніка та засоби автоматики дозволяють створювати надійні та економічні статичні перетворювачі частоти з прийнятними для локомотивів розмірами і масою. Завдяки цьому з'явилася практична можливість використовувати в локомотивах передачу потужності змінного струму з асинхронними короткозамкненими електродвигунами. Проблема в тому, що при використанні тягових електродвигунів постійного струму для тепловозів з дизелями потужністю більше 2940 кВт в секції доводиться істотно ускладнювати їх конструкцію.

Асинхронний тяговий електродвигун ЕД900 призначено для опорно-рамної підвіски. Конструкція асинхронного тягового електродвигуна вказана на рис. 1.2. В тягових машинах змінного струму магнітопровід, що виконується з листів електротехнічної сталі, закріплюється в корпусі статора. Товщина стінок корпусу визначається з умов міцності і сполучення з іншими частинами машини: підшипниковими щитами, деталями повітроводів та ін.

Литий циліндричний корпус 8 електродвигуна ЕД900 має внутрішні осьові ребра жорсткості, що утворюють канали для проходу охолоджуючого статор

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

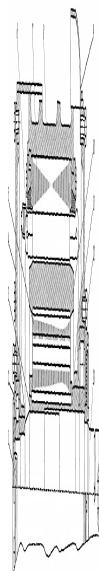


Рисунок 1.2 – Асинхронний тяговий електродвигун ЕД900

повітря. Для входу і виходу повітря двигун має два люки. Вихідний люк в патрубку 9 забезпечений кожухом, який захищає двигун від вологи і пилу.

Незалежна повітряна система охолодження двигуна направляє повітря двома паралельними потоками: через повітряні канали між сталевим пакетом сердечника 7 статора і корпусом 8 і через два ряди круглих отворів в осерді 5 ротора. Повітряний зазор між статором і ротором становить 1,5 мм.

Пакет сердечника 7 статора набирають з листів електротехнічної сталі на спеціальні призми і закріплюють натискаючими шайбами. Двошарову петльову обмотку 6 статора укладають у пази сердечника 7 статора, закріплюють у них ізоляційними клинами і потім виконують просочення і сушку. Лобові частини обмотки 6 статора закріплюють конусними кільцями. Статор з укладеною в нього обмоткою обточують по призмам і запресовують у корпус. Обмотка статора ізольована від корпусу поліамідної плівкою.

На вал електродвигуна напресовують втулку 3 у вигляді труби, а на неї напресовують сердечник 5 ротора, набраний з листів електротехнічної сталі. Короткозамкнена обмотка ротора виконана у вигляді «білячої клітини» шляхом заливання пазів і торців сердечника алюмінієвим сплавом. Пази ротора мають півовального напівзакриту форму. Конструкція підшипникових вузлів 12 подібна підшипниковим вузлам тягових електродвигунів постійного струму.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Механічна характеристика асинхронного двигуна жорстка, таку ж характеристику має двигун постійного струму паралельного збудження. Однак перенавантаження двигуна постійного струму обмежується нагріванням і комутацією, а асинхронного двигуна розвиває максимальний момент.

Тому у асинхронного двигуна допустима перевантаження обмежується тією частиною характеристики, яка обумовлює стійку роботу.

При сучасному розвитку техніки найбільш вірогідним здається застосування на тяговому рухомому складі асинхронних тягових електродвигунів. Завдяки порівняно низькій масі і відсутності колектора і щіток короткозамкнуті тягові електродвигуни можуть надійно працювати в швидкохідних пасажирських локомотивах при опорно-осьовий підвісці. Разом з тим АД не створюють будь-яких перешкод для використання опорно-рамної та інших типів підвісок.

АД з короткозамкненим ротором має відносно малий пусковий момент і великий пусковий струм. Збільшення пускового моменту і зменшення пускового струму можливе при виконанні білячої клітини ротора з підвищеним активним опором, але при цьому двигун має збільшене ковзання і великі втрати потужності в обмотці ротора.

Застосовуються такі різновиди короткозамкнутих АД, у яких параметри обмотки ротора (активний опір і індуктивність розсіювання) залежать від частоти струмів ротора 2: двухклеточного двигуни, глибокопазні двигуни і двигуни з суцільним сталевим ротором.

Режими роботи АД. Одним з важливих параметрів роботи АД є відносне ковзання:

$$\frac{12}{1} \quad (1.1)$$

де 1 – частота обертання магнітного поля статора;

2 – частота обертання ротора.

Так як частота струму, що живить обмотку статора (або, що те ж, частота обертання магнітного поля статора), 1 ± 1 а частота обертання магнітного поля

					0032.240131.0000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

ротора

$$2.2 \frac{12}{1} \quad (1.2)$$

Різниця 12_{\dots} – абсолютна частота ковзання ротора. ЕРС, що наводиться в обертовому роторі, має саме цю частоту. Абсолютна частота ковзання ротора пов'язана з його відносним ковзанням залежністю, яка визначається на підставі виразу (1.2), як $\dots 1$.

При найбільшому навантаженні частота обертання ротора для різних електродвигунів зазвичай становить 98,0-92,5% частоти обертання, 1 (ковзання $n_{\text{ном}} = 2-7,5\%$). Відносне ковзання змінюється від $S = 1$ при нерухомому роторі до $S = 0$. Чим більше навантаження, тобто обертаючий момент, який повинен розвивати електродвигун, тим менше частота обертання ротора. Крива на рис. 1.3 (частота обертання асинхронного електродвигуна) лише незначно знижується при збільшенні навантаження в діапазоні від нуля до найбільшого її значення. Такий двигун має жорсткої механічною характеристикою. Найбільший крутний момент M_{max} електродвигун розвиває при деякому ковзанні k_p становить 10-20%. Відношення визначає перевантажувальну здатність електродвигуна, а відношення $n/n_{\text{ном}}$ – його пускові властивості.

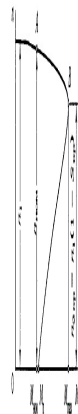


Рисунок 1.3 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Електродвигун може стійко працювати тільки при забезпеченні саморегулювання, тобто автоматичне встановлення рівноваги між прикладеним

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

до валу зовнішнім моментом навантаження і моментом, що розвивається електродвигуном. Цій умові відповідає верхня частина характеристики до досягнення T_{max} (до точки B). Якщо зовнішній навантажувальний момент перевищить момент T_{max} , то електродвигун втрачає стійкість і зупиняється, при цьому по обмотках машини буде проходити струм в 5-7 разів більше номінальної.

Для умов тяги та електричного гальмування відносно ковзання s повному обсязі визначає режим роботи асинхронного електродвигуна: при русі локомотива доводиться регулювати швидкість, а отже, ω і f . Можливо регулювати і напруга, що підводиться до тягового електродвигуна. Тому режими роботи асинхронного тягового електродвигуна можуть бути найрізноманітнішими при одному і тому ж відносному ковзанні S . Якщо врахувати, що максимальний момент електродвигуна також залежить від величини прикладеної до нього напруги і частоти струму, що живить статор, то при зміні режимів роботи локомотива буде змінюватися запас стійкості тягового електродвигуна.

Враховуючи вираз $2.1.1$, слід, що частоту обертання n_2 ротора АД можна змінювати такими способами:

- регулюванням частоти напруги живлення f_1 (частотне регулювання), що забезпечує плавну зміну частоти обертання n_1 , магнітного поля;
- зміною числа пар полюсів p обмоток статора і ротора, що забезпечує дискретне зміна частоти обертання n_1 магнітного поля;
- зміною ковзання S (без використання енергії ковзання) внаслідок зміни виду механічної характеристики двигуна. Ця зміна виду механічної характеристики можна забезпечити регулюванням: первинної напруги U_1 наприклад тиристорним регулятором напруги (тиристорне регулювання); зміною індуктивного або активного опору ланцюгів обмоток статора або ротора; створенням додаткового гальмівного моменту на валу електродвигуна (метод накладення); шляхом спотворення симетрії системи підведених до обмотці статора напруг;
- зміною ковзання (з використанням частини енергії ковзання) шляхом введення в ланцюг обмотки ротора ЕРС частоти ковзання 2.1 (каскадні схеми

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

регулювання);

– комбінованими способами регулювання, заснованими на використанні перемикачів числа пар полюсів у поєднанні зі зміною ковзання тиристорними регуляторами напруги або керованими реакторами.

Для того щоб встановити найбільш ефективні закони регулювання режимів роботи АД, розглянемо залежність обертаючого моменту M від його параметрів:

$$\frac{1121}{1'2'1'2'} \quad (1.3)$$

де 1 і 1 – число пар полюсів і число фаз обмотки статора;

1 і 1 – активний та індуктивний опір обмотки статора;

2 і 2 – приведені до параметрів ланцюга статора активний та індуктивний опір кола ротора;

U – напруга живлення, прикладена до статора.

Оскільки відносно ковзання при нормальній роботі асинхронного тягового електродвигуна мало, то, вважаючи 2 і нехтуючи активним опором обмотки статора, тобто вважаючи $\frac{1}{2}$, запишемо

$$\frac{2}{1} \quad (1.4)$$

Так як навантаження тягового електродвигуна, а отже, і його обертальний момент змінюються в експлуатації в широких межах, важливо дотримуватися умови, що забезпечує найбільш економічну роботу тягового електродвигуна. Воно полягає в тому, що при всіх можливих режимах роботи потужність втрат в двигуні повинна бути мінімальною, тобто

$$\min \left\{ m \cdot c \cdot 2 \right\}_{\min} \quad (1.5)$$

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

де m і c – механічні та магнітні втрати в двигуні, які в першому
наближенні вважаються не залежними від навантаження
двигуна, тобто від струму ротора 2;

$2 \cdot |12|$ – втрати в роторі.

Різниця частоти обертання поля статора 1, і частоти обертання
ротора 2 називають абсолютним ковзанням ротора:

$$12 \quad (1.6)$$

Тоді втрати в роторі розраховуємо за формулою:

$$2 \cdot |12| \quad (1.7)$$

Умова \min вимагає того, щоб абсолютна різниця частот обертання поля
статора і ротора (абсолютне ковзання) була мінімальною і постійною в усіх
режимах:

$$|12|_{\min} \quad (1.8)$$

Щоб виявити способи реалізації умови, розглянемо два режими
навантаження електродвигуна. У першому з них напруга, що живить статор,
дорівнює 1, і частота його 1, в другому відповідно $\frac{1}{2}$ і $\frac{1}{2}$. Відносне ковзання
ротора в першому і другому режимах відповідно

$$1 \frac{|12|}{1} \quad \frac{|12|}{\frac{1}{2}} \quad (1.9)$$

Обертальний момент електродвигуна в першому режимі на підставі виразу
(1.4)

$$1 \frac{2}{1} \frac{|12|}{1} \quad \frac{2}{\frac{1}{2}} \frac{|12|}{\frac{1}{2}} \quad (1.10)$$

$$\frac{K_L \cdot 111 \cdot k_{\Sigma} \cdot 3.2}{K_L} \quad (1.14)$$

отримаємо на підставі виразу (1.13) загальний закон регулювання режимів локомотива з асинхронними електродвигунами у вигляді

$$\frac{111}{111} \quad (1.15)$$

Тут швидкість руху v_1 і сила тяги F_1 , відповідають частоті f_1 , живить напругу U_1 , а f_1 і k_1 – частота живлячої напруги f_1 .

Оскільки, $1/2 \cdot 111/k_1$, то, звівши обидві частини (1.12) в квадрат, отримаємо

$$\frac{1^2 \cdot 1^2 \cdot k}{1^2 \cdot 1^2 \cdot k} \quad (1.16)$$

звідки

$$\frac{1 \cdot 1}{1} \cdot \frac{1}{1} \quad (1.17)$$

Отже, для забезпечення умови сталості потужності електродвигуна потрібно змінювати напругу живлення пропорційно квадратному кореню з його частоти.

Режим сталості швидкості руху локомотива, тобто v_1 або $1/f_1$, рівносильний умові сталості частоти живлячої напруги $1/f_1$. При цьому з виразу (1.15) отримаємо $1/f_1 \cdot \sqrt{k/k}$. Значить, для забезпечення сталості швидкості руху живить напруга слід міняти пропорційно квадратному кореню з сили тяги.

Якщо прикладена до електродвигуна напруга зберігається постійною, тобто $1/f_1$, на підставі співвідношення (1.15) отримаємо

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{k'}} \quad (1.18)$$

Отже, тягова характеристика змінюється за законом квадратичної гіперболи, як у ненасиченого електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням. За умови сталості живлячої напруги, змінюючи його частоту обернено пропорційно силі тяги, отримаємо м'яку характеристику електродвигуна при мінімумі втрат. Наприклад, при незмінному напрузі живлення, що має частоту f_1 Гц, двигун розвиває силу тяги k (лінія 1, рис. 1.4). Із зростанням швидкості збільшується частота живлячої напруги. Якщо швидкість руху, а отже, і частота живлячої напруги зросли, припустимо, в ϵ раз, тобто $f_2 = \epsilon \cdot f_1$ Гц, то сила тяги двигуна зменшиться на підставі залежності (1.15) в співвідношенні $\sqrt{\frac{k}{k'}}$, тобто буде дорівнює половині вихідного значення, $k/2$, тобто $k' = k/2$. Абсолютна частота ковзання ротора залишається незмінною, як це показано на рис. 1.4. Якщо далі швидкість руху зросла по відношенню до вихідної в 2 рази, тобто $f_3 = 2 \cdot f_1$ Гц.



Рисунок 1.4 – Характеристики асинхронного двигуна при частотному

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

регулюванні

Звідси сила тяги $k_{...k}$, тобто зменшиться при подвоєній швидкості руху в 4 рази щодо первісного значення 1, відповідного частоті живлячої напруги 1 Гц. Абсолютна частота ковзання тягових електродвигунів та енергетичні втрати в локомотиві, як і раніше мінімальні.

При збільшенні напруги живлення характеристики зміщуються в область більш високих швидкостей (лінія 2, рис. 1.4), при зниженні - в область більш низьких швидкостей (крива 3, рис. 1.4). Одночасно змінюючи напругу живлення і його частоту можна отримати в залежності від прийнятого закону регулювання характеристики локомотива будь-якої жорсткості.

Управління тяговими АД шляхом зміни числа пар їх полюсів і полюсів тягового синхронного генератора дозволяє отримати ступеневу зміна частоту обертання. Такі двигуни мають великі габаритні розміри і масу в порівнянні з двигунами загального виконання, а отже, і більшу вартість. Крім того, регулювання здійснюється ступенями; при частоті 1 Гц частота обертання поля, при перемиканнях змінюється щодо 3000:1500:1000:750.

Також є АД, які забезпечують зміну частоти обертання при постійному найбільшому моменті або при приблизно постійної потужності.

У електропередачах з АД можливе електричне гальмування. Режим реостатного гальмування АД в тепловозах має обмеження по зчепленню коліс з рейками, струму навантаження, напрузі, магнітному потоку АД і перевантажувальної його здібності.

1.3 Тягові вентильні двигуни

Подібність вентильного електродвигуна з синхронної машиною обумовлено наявністю трифазної обмотки статора і магнітним потоком, створюваним постійним струмом, що надходять в обмотку збудження від спеціального джерела.

У потужних вентильних електродвигунах застосовуються трифазні обмотки, які забезпечують досить високий ККД, їх дослідження показують, що

					0032.240131.0000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

застосування двох трифазних обмоток із зсувом на 30 ел. градусів подібно тяговим синхронним генераторів може трохи підвищити зазначений показник і поліпшити тягові його властивості вентиляного електродвигуна.

Для живлення обмотки вентиляного електродвигуна застосовується спеціальний пристрій, в якому випрямлення струму і перетворення числа фаз виконують одні й ті ж тиристори, які утворюють єдиний вузол - статичний перетворювач частоти і числа фаз (ПЧФ). У ПЧФ здійснюється природна комутація тиристорів.

Спеціальна система імпульсного управління тиристорами ПЧФ регулює його режим роботи і навантаження тягових електродвигунів.

Внаслідок пульсації випрямлених напруги і струму обертаючий момент вентиляного електродвигуна має при пуску пульсації, рівні 10-15% його максимального значення. У міру збільшення швидкості пульсації моменту знижуються приблизно до 5%. Пульсації струму знижують коефіцієнт потужності локомотива, збільшують втрати в ланцюга якірної обмотки вентиляного електродвигуна і ускладнюють процес машинної комутації. Для поліпшення процесу машинної комутації в ланцюг двигуна вводиться згладжуючий реактор.

Як зазначалося раніше, вентиляний електродвигун може працювати від мережі змінного струму. У цьому випадку ПЧФ здійснює випрямлення змінного струму. Незважаючи на збільшення потужності обмотки збудження вентиляного електродвигуна в порівнянні з колекторними електродвигунами постійного струму, загальний обсяг, займаний полюсної системою вентиляного електродвигуна, менше, ніж у колекторного, в зв'язку з відсутністю додаткових полюсів і їх обмоток.

Для ефективного управління та отримання максимального крутного моменту в вентиляному електродвигуні застосовують спеціальні датчики реєстрації повороту його ротора. Цей датчик при обертанні ротора виробляє керуючі імпульси для тиристорів перетворювача.

Головним в освоєнні системи тяги з безколекторними тяговими електродвигунами є поряд з подальшим вдосконаленням їх конструкції створення найбільш простих, надійних і економічних перетворювачів енергії, які мають

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

найкраще співвідношення потужності та основних параметрів вузлів. Щоб вирішити ці проблеми, необхідно, по-перше, вибрати найкращу структурну схему самого перетворювача, тобто число і схему з'єднання функціональних блоків, ступінь резервування, по-друге, створити систему управління перетворювачем, що володіє достатньою точністю і високою швидкістю, які залежать головним чином від похибок і власного часу використовуваних елементів. Система повинна плавно регулювати режими роботи перетворювача і електродвигуна в усьому можливому діапазоні без шкідливого (індуктивного) впливу на системи локомотивної сигналізації, автоблокування, зв'язку і т.д.

1.4 Тягові трифазні синхронні генератори, їх конструкція та характеристики

На тепловозах 2ТЕ116УП, 2ТЕ121, ТЕП70БС і ТЕП80 встановлені тягові агрегати типів А714, А713 і А711, до складу яких входять тяговий синхронний генератор (СГ) і генератор власних потреб, або опалювальний. На пасажирському тепловозі ТЕП70БС він іменується генератором енергопостачання.

Тяговий агрегат А714 захисного виконання має незалежну систему охолодження. Його основним несучим вузлом є статор тягового синхронного генератора (рис. 1.5). Статор 15, служить одночасно передньою натискною шайбою для сердечника 14 статора, впирається в торець проміжного щита, ніж забезпечує необхідну жорсткість конструкції. Торцевий підшипниковий щит 8 агрегату по конструкції подібний щиту тягового синхронного генератора ГС-501А. Ротори агрегату мають загальний корпус безвальної конструкції (зварювально-литої) у вигляді барабана 19.

На корпусі розташовані дві самостійні системи збудження: тягового СГ і ГВП. З боку ГВП розташовані контактні кільця б обох машин. Генератор власних потреб забезпечує живлення обмотки збудження 18 тягового генератора, приводу допоміжних механізмів і машин, пристроїв автоматики та ін. Збудження ГВП здійснюється за принципом самозбудження. Це явнопольосна машина, що має 12 полюсів, розташованих на роторі і одержує живлення від власної статорної

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

обмотки. У пазах сердечника 14 статора розташовуються дві трифазні обмотки, зсунуті на 30 ел. град.

Сердечник 14 статора виконаний з листів сталі 3313 товщиною 0,5 мм, в яких виштампуваними 40 вентиляційних каналів. У пазах статора покладена хвильова обмотка, що має ізоляцію класу Н. Сердечники полюсів 13 ротора набрані з листів сталі товщиною 1,4 мм, спресовані і стягнуті шпильками.

Обмотка збудження 11 і полюсів виконана з мідної стрічки ЛММ 1,08 х 22 мм, намотаною на ребро, і має ізоляцію класу F типу «Моноліт-2» Агрегат має 20 виводів. Вісім виводів 22 і 24 статорної обмотки тягового СГ розташовані з боку дизеля, з них шість належать двом трифазним обмоткам, сполученим в зірку, і дві нульовим точкам.

Дванадцять виводів розташованих з боку контактних кілець: шість - від двох трифазних обмоток статора ГВП, з'єднаних в зірку, два - від нульових точок і чотири - від обмоток збудження СГ і ГВП.



Рисунок 1.5 – Конструкція тягового агрегату А714

На рис. 1.6 показані зовнішні природні характеристики трифазного синхронного генератора, що ілюструють залежність напруги U на його

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

затискачах від струму обмотки статора I при заданому коефіцієнті потужності приймачів ..., незмінного струму збудження в обмотці ротора B і постійній частоті обертання ротора, чим і відповідає незмінна частота змінного струму Ці характеристики можуть виходити як із загальної точки $(0, g_x)$, що відповідає режиму холостого ходу, так і перетинатися в точці $(g_{ном} g_{ном})$ відповідної номінальної навантаженні. Перші характеристики дозволяють визначити зміну напруги генератора при збільшенні навантаження від режиму холостого ходу до номінального струму, а другі – при зниженні навантаження від номінальної до режиму холостого ходу.

Основою зовнішньої характеристикою синхронного генератора вважають криву $U_T(I_T)$, отриману при симетричному режимі, коефіцієнті потужності приймачів ... і

Для підтримки напруги синхронного генератора незмінним при змінному

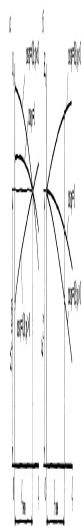


Рисунок 1.6 – Зовнішні характеристики трифазного синхронного генератора при зміні навантаження із заданим коефіцієнтом потужності навантаження:
а – від режиму холостого ходу до номінального; б – від номінального до режиму холостого ходу

навантаженні доводиться регулювати струм збудження B в обмотці ротора за законом, обумовленому регулювальними характеристиками, крутизна яких залежить від характеру навантаження і її коефіцієнта потужності (рис. 1.7). Так,

при зростаючому струмі навантаження, відстаючому по фазі від напруги на кут α , виникає розмагнічуюча дія реакції якоря і відповідно регульовальна характеристика піднімається, а при зростаючому струмі навантаження, випереджаючому по фазі напругу на кут α , вона знижується внаслідок підмагнічуючої дії реакції якоря.

Регульовальні характеристики дають можливість встановити, межі зміни синхронного генератора і вибрати апарати для регулювання напруги. Регулювати струм збудження при зміні навантаження генератора можна, змінюючи опір обмотки збудження.

Регулювати струм збудження при зміні навантаження генератора, який на тепловозі працює в якості збудника основного тягового генератора, можна не тільки впливаючи на регулюючий реостат, але й автоматично, що особливо зручно при синхронних генераторах з самозбудженням (рис. 1.8).



Рисунок 1.7 – Регульовальні характеристики трифазного синхронного генератора при різному коефіцієнті потужності приймачів

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 1.8 – Схема трифазного синхронного генератора з самозбудженням

Тут при холостому ході генератора вторинні обмотки вольтододавального трансформатора Tr_v грають роль дроселів, що знижують напругу на затискачах узгоджувального трансформатора Tr_c , через який живляться напівпровідникові діоди B . При збільшенні навантаження генератора в цих обмотках наводиться ЕРС, в результаті чого напруга на діодах зростає і збільшується струм збудження генератора, що призводить до відносної стабілізації напруги на його затискачах.

Електромагнітна потужність трифазного синхронного генератора e_m – потужність, що передається електромагнітним шляхом обмотці статора обертається ротор і що відрізняється від потужності 2 зовнішнього ланцюга тільки на потужність 2^2 , що відповідає втратам електричної енергії в обмотці статора, визначається виразом:

$$e_m 2^2 2^2. \tag{1.19}$$

де 2 – активний опір фази обмотки статора.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Оскільки втрати електричної енергії в обмотці статора незначні, можна вважати, що потужності e_m і 2 практично однакові. Тому електромагнітну потужність знаходять:

$$e_m = 2 \dots \dots \dots \quad (1.20)$$

Оскільки електромагнітна потужність e_m залежить від ЕРС холостого ходу x , обумовленою струмом збудження v , то деяким перезбудженням машини можна збільшити максимальну електромагнітну потужність, при цьому підвищується статична стійкість роботи машини, але також посилюється нагрів обмотки ротора.

Робота трифазних синхронних машин в генераторному режимі супроводжується втратами енергії, які аналогічні втрат в асинхронних машинах. Ефективність роботи трифазного синхронного генератора характеризує ККД, який при симетричному навантаженні знаходять по формулі:

$$\frac{\dots \dots \dots}{\dots \dots \dots} \quad (1.21)$$

де l і l – діюча лінійна напруга і струм;

\dots – сумарні втрати, що відповідають даній навантаженій машини.

Максимальне значення ККД синхронного генератора відповідає навантаженню, близькою до номінального, і становить для машин середньої потужності 0,88-0,92, а для генераторів великої потужності доходить до 0,96-0,99 (рис. 1.9)

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 1.9 – Графіки залежності ККД трифазного синхронного генератора від навантаження і коефіцієнта потужності приймачів

1.5 Особливості застосування синхронних генераторів в передачах змінного струму тепловозів

У локомотивних передачах змінного струму використовуються синхронні генератори, які працюють спільно з випрямною установкою. Для зменшення пульсації вихідної напруги в статорі тягового синхронного генератора (ГС 501, ГС 504) укладають дві трифазні обмотки, зсунуті відносно один одного на 30 ел. градусів. Тепловозні синхронні генератори представляють собою явнополюсну синхронну електричну машину. Розміри дизельного приміщення локомотива дозволяють спроектувати синхронний генератор потужністю до 7500 кВт. Синхронні генератори порівняно з генераторами постійного струму (ГПС) мають меншу масу. Так, синхронний генератор ГС 504 потужністю 2750 кВт має масу 6500 кг, а генератор постійного струму ГП313Б потужністю 2700 кВт - 9000 кг. Звідси випливає, що маса синхронного генератора менше маси генератора постійного струму на 28-30%. Випрямна установка має масу, рівну ~ 10% маси синхронного генератора (рис. 1.10). Тому загальне зниження маси при переході на синхронний генератор (СГ) і випрямляючі установки (ВУ) становить 18-20%.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Рисунок 1.10 – Регулювальна характеристика збудження тепловозного тягового генератора

При газотурбінному двигуні СГ є єдино доцільним, оскільки між ними наявність механічного редуктора необов'язково, оскільки синхронний генератор виконується на частоту обертання ротора газотурбінного двигуна. Спільна робота ГПС з газотурбінним двигуном без механічного редуктора неможлива на увазі малої механічної міцності його якоря.

На тепловозах і газотурбовоза з передачею змінного струму між тяговим синхронним генератором і асинхронними тяговими двигунами можлива наявність некерованою випрямної установки (ВУ).

При визначенні зовнішніх характеристик силової установки тепловоза (СГ з урахуванням ВУ) враховують розмагнічуючу дію поздовжньої реакції якоря синхронного генератора. Внаслідок розмагнічуючого впливу поздовжньої реакції і індуктивного опору обмоток напруга СГ при незалежному збудженні різко падає при постійному струмі незалежної обмотки збудження і з збільшенням струму навантаження. Якщо номінальний струм збудження вибрати по g_{max} , як в генераторах постійного струму, то максимальний струм короткого замикання (к.з.) виявляється набагато менше g_{max} , необхідного за умовами використання зчеплення коліс з рейкою. Для збільшення струму к.з. генератора можна

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

підвищувати значення в.к.з., (відношення короткого замикання). Синхронний генератор, виконаний з підвищеним в.к.з., має збільшені габарити і масу. У режимі к.з. по обмотці статора протікає чисто реактивний струм, який практично не залежить від частоти обертання ротора СГ. Тільки при дуже малій частоті обертання ротора СГ починає проявлятися значення активного опору статора і струм к.з. інтенсивно зменшується. Тепловозні генератори виконуються зі значенням в.к.з. ≈ 2 і, крім того, в режимах пуску повинні допускати форсування збудження. Це не призводить до збільшення перерізів ділянок магнітного ланцюга генератора, так як потік в пускових режимах малий. Струм збудження зростає при пуску для компенсації реакції якоря і падіння напруги .

Тяговий генератор змінного струму має незалежне збудження (рис. 1.11) від спеціального збудника. Експлуатація тепловозів показала надійність двох систем збудження тягових синхронних генераторів: збудника змінного струму з самозбудженням; від синхронного збудника з регулюванням напруги за допомогою керованого випрямляча збудження.

Удосконалення систем регулювання напруги тягових генераторів стало можливим у результаті розвитку напівпровідникової техніки, впровадження транзисторних і тиристорних перетворювачів і підсилювачів. Тиристорні підсилювачі володіють такими якостями, як малі габаритні розміри при великій потужності, високий ККД і коефіцієнт посилення, велику швидкодію. Це дозволило на тепловозах з електричною передачею потужності змінно-постійного струму застосувати більш сучасну систему регулювання напруги тягового генератора, що містить замість магнітного підсилювача і генератора-збудника

					<i>0032.240131.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Рисунок 1.11 – Принципові схеми незалежного збудження синхронного тягового генератора:

а – від синхронного збудника з самозбудженням (тепловози 2ТЕ121, 2ТЕ116, ТЕП75); б – від синхронного збудника через УВВ (тепловози 2ТЕ116, ТЕП70)

постійного струму генератор-збудник змінного струму і тиристорний підсилювач, живить обмотку збудження тягового генератора. Але так як необхідні характеристики $\xi(\delta)$ повинні бути тими ж самими і при новій системі регулювання напруги генератора, то природно, що вона теж є комбінованою і побудована на основі принципів регулювання по відхиленню і збурень і містить чотири регулятора напруги тягового генератора: по відхиленню напруги від заданого значення, току тягового генератора (або електродвигунів), частоті обертання вала дизель-генератора і положенню органу паливоподачі дизеля.

1.6 Електрична передача з полюсно-перемикаючими двигунами

За розробками створений макетний тепловоз на базі механічного обладнання тепловоза ТГК2, для якого за технічним завданням виконаний дослідний полюсно-перемикаємий по обмотці збудження генератор ($2p = 4/6$).

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Заводське виготовлення не зустріло технологічних труднощів, практично не викликало ускладнення операцій або збільшення їх трудомісткості. Заводські і стендові випробування генератора підтвердили його працездатність і відповідність параметрів і характеристик з розрахунковими даними.

На тепловозі встановлено два тягових асинхронних двигуна типу БМПД, число полюсів яких також може змінюватися (відносно 8/6). Це забезпечує отримання необхідної тягової характеристики локомотива. Стендові і поїзні випробування макетного тепловоза, підтвердили правильність теоретичних принципів і методів, покладених в основу створення полюсно-перемикаючої передачі, а також принципів керування роботою електропередачі в різних режимах. Електропередача з СГ та АД без проміжних перетворювачів забезпечує задані тягові властивості і параметри локомотива, а також рівномірний розподіл навантажень між тяговими двигунами

Однією з позитивних особливостей, як підтвердили експериментальні дослідження макетного тепловоза, є те, що втрата зчеплення і перехід в режим буксування однієї або частини колісних пар практично не позначаються на працездатності локомотива. При буксуванні одночасно всіх колісних пар має місце переміжне буксування з періодичною втратою і частковим відновленням сили тяги локомотива. У даній системі електропередачі принципово неможливе розносне буксування: максимальна частота обертання ротора тягового двигуна має межу, обумовлену максимальною частотою обертання валу дизеля і співпадаючої з межею робочого режиму тягового двигуна.

Система автоматичного регулювання локомотива (САР). САР електропередачі призначена забезпечувати всі режими роботи автономного локомотива: режим пуску (від моменту початку руху з місця), частотне управління в тяговому і гальмівному режимах, а для полюсно-перемикаючої передачі – режими перемикавання полюсів електричних машин.

Основні вимоги, запропоновані до електропередачі в режимі пуску - це отримання найбільших значень сил тяги локомотива в пускових режимах і забезпечення стійкої спільної роботи електропередачі з тепловим двигуном, виключення можливості його перевантаження. При частотній зміні швидкості АД

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

необхідно управляти потоком або напругою з метою досягнення найбільш можливих значень к.к.д. ЕП для заданих установок потужності. При електричному гальмуванні повинно забезпечити формування границі з обмеженням гальмівної характеристики, стабілізацію швидкості руху на крутих спусках і стабілізацію гальмівного зусилля в необхідних випадках.

При наявності перемикачів полюсів електричних машин в тяговому і гальмівному режимах ці перемикачів повинні виконуватися системою автоматики.

Розроблена САР з коригуючими зв'язками забезпечує стійку спільну роботу генератора з тепловим двигуном у всіх режимах роботи. Регулятор теплового двигуна необхідний лише для підтримки холостого ходу і обмеження максимальної частоти обертання в разі аварійного скидання навантаження.

Система автоматичного регулювання макетного тепловоза має канал регулювання напруги, канал регулювання пуску і канал перемикачів полюсів, вихідні сигнали яких впливають на підсилювачі, які включені послідовно керуючі фазорегулятором, який через формувач імпульсів впливає на керований випрямляч, змінює струм збудження синхронного генератора. Блок синхронізації забезпечує синхронізацію керуючих імпульсів випрямляча з частотою струму збудника В.

В режимі пуску локомотива працює канал, стабілізуючи частоту обертання валу теплового двигуна шляхом впливу на підсилювачі та фазорегулятор. Корекція завдання пускової частоти проводиться за сигналом датчика подачі палива.

По закінченні пуску канал відключається, що міститься в ньому пороговим елементом і в роботу вступає канал КРП, що забезпечує в тягових режимах оптимальне, але к.к.д. регулювання за сигналами, пропорційним частоті струму, а також потужності теплового двигуна. У режимі електричного гальмування регулювання здійснюється також по каналу при знятті сигналу про потужність теплового двигуна.

В режимі пуску локомотива працює канал, стабілізуючи частоту обертання валу теплового двигуна шляхом впливу на підсилювачі та фазорегулятор.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Корекція завдання пускової частоти проводиться за сигналом датчика подачі палива ДПП.

По закінченні пуску канал відключається, що міститься в ньому пороговим елементом і в роботу вступає канал, що забезпечує в тягових режимах оптимальне, але к.к.д. регулювання за сигналами, пропорційним частоті струму, а також потужності теплового двигуна. У режимі електричного гальмування регулювання здійснюється також по каналу КРП при знятті сигналу про потужність теплового двигуна.

Поліпшення динамічних характеристик системи досягається введенням в систему автоматичного регулювання вузлів випередження керуючих сигналів: при необхідності збільшення потужності теплового двигуна в робочих режимах сигнал на збільшення струму збудження подається з випередженням щодо сигналу зміни подачі палива, а в режимі пуску при рушанні локомотива з місця доцільно потужність теплового двигуна починати збільшувати з випередженням відносно моменту включення струму збудження генератора.

Канал перемикання полюсів за допомогою логічної системи впливає на пристрій перемикання і на підсилювач, зменшуючи напругу, а значить, і момент опору генератора при зворотному перемиканні полюсів.

Система автоматичного регулювання була випробувана разом з силовою схемою передачі на стенді і при поїзних випробуваннях макетного тепловоза. Всі канали регулювання працювали відповідно до заданої програми.

Дана електрична передача з полюсно-перемикаючими двигунами не здобула практичного застосування.

1.7 Дослідні зразки тепловозів і електровозів з машинами змінного струму

У 1966 р. побудований перший в світі досвідчений моторний вагон з асинхронними тяговими двигунами і статичними перетворювачами частоти, а в 1967р. випустили дослідний зразок електровоза змінного струму ВЛ80^к з асинхронними тяговими двигунами і статичними перетворювачами частоти (рис. 1.12). При цьому в габарити тягового електродвигуна електровоза ВЛ80^к

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

вдалося вписати АД в 1,5 рази більшій потужності – 1200 кВт. за рахунок чого швидкість годинного режиму збільшилася з 51,2 до 64,2 км/год, а сила тяги колісної пари з 56 до 67 кН. Маса тягового двигуна знизилася з 4350 до 3650 кг.



Рисунок 1.12 – Структурна схема секції електровоза ВЛ80^а

Управління рухом цього електровоза здійснюється за допомогою контролера (КМ), задаючи ступічасто (через груповий контролер ГК) напруга U на випрямлячах (В1-В2). У межах кожного ступеня здійснюється плавне регулювання напруги шляхом фазного управління (ФУ) тиристорами випрямлячами. Для автоматичного регулювання частоти живлячої напруги в залежності від швидкості руху електровоза служать датчик швидкості ДШ. Вбудований в боксу колісної пари (або в вал тягового двигуна), блок ведення режиму БВР і блок управління інвертором БУІ. Сигнал ДС у вигляді імпульсу c пропорційний частоті обертання колісної пари, або частоті обертання ротора тягового електродвигуна. У блоці БВР сигнал c підсумовується з постійним сигналом o , що задає частоту абсолютного ковзання ротора. Сума цих сигналів

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

надходить до блоку БУІ, задаючи вихідну частоту інвертору, яка є частотою напруги U_1 , живить статор тягового електродвигуна. Таким чином, при всіх режимах руху електровоза, тобто при всіх значеннях частоти f_2 , обертання ротора тягового електродвигуна (АД1 - АД4). Частота, напруги, що живить статор, виявляється більше f_2 на постійну величину частоти абсолютного ковзання ротора, тобто f_{sl} . Кожен АД працює зі своїм інвертором (І1-І4).

Завдяки цьому забезпечується робота асинхронних тягових електродвигунів з постійним абсолютним ковзанням у всіх режимах роботи електровоза. Здійснення режиму рекуперативного гальмування на електровозах з асинхронними тяговими електродвигунами хоча і вимагає додаткового устаткування, але не викликає принципових змін електричної схеми електровоза, як наприклад на електровозах постійного струму.

Забезпечення електричної стійкості режиму рекуперації електровозів з асинхронними тяговими електродвигунами досягається тими ж шляхами, що й на електровозах однофазні-постійного струму. У режимі рекуперації електровоза з асинхронними двигунами можна отримати різні гальмівні характеристики. Вони визначаються вибраними законами регулювання частоти, напруги і гальмівного моменту. Аналіз тенденцій розвитку ЕРС з такими двигунами показує, що підвищення ефективності їх використання і надійності йде по шляху вдосконалення як перетворювальних установок, так і самих асинхронних електродвигунів.

Показовим у цьому відношенні є створення у електровозів потужністю 5600 кВт з асинхронними тяговими електродвигунами, живляться від напруги контактної мережі частотою 50Гц через чотирьохкватратний перетворювач. Перетворювач забезпечує при номінальних режимах струм тягового електродвигуна, близький до синусоїдальної, що дає більш високий ККД, ніж у електровозів однофазні-пульсуючого струму. Крім цього перетворювач дозволяє мати коефіцієнт потужності майже рівний 1, що знижує втрати енергії в контактній мережі до малого значення. Цей же перетворювач використовується як регулятор у системі реостатного і рекуперативного гальмування.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Подальше вдосконалення асинхронних електродвигунів йде по шляху застосування нових електротехнічних матеріалів, дослідження властивостей і розробки нових конструкцій, а також створення високовольтних тягових асинхронних електродвигунів на 6-10кВ. Аналогічні електродвигуни широко застосовуються в промисловості, де немає обмежень по умовах габаритних розмірів і мас.

Електровози вентильними тяговими двигунами ВЛ 80^в (потужність 8000 кВт) (рис. 1.13), в якому ланцюзі тягових електродвигунів були зібрані за блоковим принципом.



Рисунок 1.13 – Принципова схема однієї секції електровоза ВЛ80^в

Кожен блок, що складається з ПЧФ (1-4) вентильного електродвигуна ВД (1-4) з випрямлячем ВВ (1-4) для живлення його обмотки збудження, має індивідуальний пристрій управління інверторною ланкою І і струмом збудження. Діапазон регулювання ПЧФ від 0 до 130 Гц. При частоті струму менше 5 Гц здійснюється мережева комутація, при частоті більше 5 Гц машинна за рахунок ЕРС електродвигуна. Випрямні ланки У всіх перетворювачів мають загальний пристрій управління. Індивідуальний блок ПЧФ складається з інвертора І, випрямляча (В) і реактора, що згладжує.

Управління режимом руху електровоза здійснюється з контролера

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

машиніста КМ. задаючи напруга на електродвигунах (через груповий контролер ГК). максимальний струм якоря електродвигуна і початковий струм збудження. Регулювання інверторних ланок ПЧФ здійснюється автоматично без участі машиніста.

Тепловоз ТЕ120, потужністю 2942 кВт, був створений у 1973 р. з експериментальними цілями і призначений для визначення принципів властивостей електричної передачі з асинхронними тяговими електродвигунами і перетворювачами частоти випрямлено-інверторного типу, а також для доведення і випробувань електропередач в умовах експлуатації з вантажними поїздами.

У процесі створення макетного тепловоза ТЕ120 було вирішено ряд науково-технічних проблем: розробка та виготовлення перетворювача частоти, тягових електричних машин змінного струму, системи автоматичного регулювання, компоновка електрообладнання в обмеженому просторі кузова тепловоза. На тепловозі вперше блоки системи регулювання були об'єднані в комплектні пристрої автоматики, тяговий і допоміжний генератори виконані у вигляді однокорпусного агрегату, застосовані системи самозбудження допоміжного генератора і збудження тягового генератора від допоміжного.

На структурній схемі електропередачі тепловоза ТЕ120 (рис. 1.14) дизель приводить в обертання тяговий агрегат типу А711, об'єднуючий в одному корпусі два синхронних генератора: тяговий генератор СГ1 потужністю 2600 кВт і допоміжний генератор СГ2 потужністю 400 кВт. Тяговий агрегат був створений на базі існуючих серійних генераторів ГС501А і ГС507. Допоміжний генератор призначений для живлення споживачів власних потреб тепловоза: асинхронних електродвигунів приводу вентиляторів камери охолоджувального пристрою тепловоза МВ1, МВ2, вентиляторів тягових електродвигунів передньої і задньої візків МВ3, вентилятора перетворювальної установки (на схемі не показані), а також для живлення ланцюгів підзарядки контуру комутації автономних інверторів перетворювача частоти і живлення через тиристорні випрямлячі УВ1 і УВ2 відповідно обмоток збудження генераторів СГ1 і СГ2.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

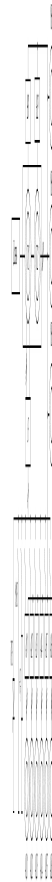


Рисунок 1.14 – Структурна схема електропередачі макетного тепловоза ТЕ120

Тяговий генератор СГ1 через перетворювач частоти, що складається з випрямної установки. В шести автономних інверторів напруги АІ1-АІ6, живляться шість тягових асинхронних електродвигунів АД1-АД6.

Регулювання швидкості і тягового зусилля тепловоза виробляється зміною напругою на виході В завданням необхідного збудження тягового генератора СП і зміною частоти напруги на виході тягових інверторів. Застосування для автономних локомотивів інверторів з зовнішнім (амплітудним) регулюванням напруги значно спрощує силову схему електропередачі і знижує вимоги до перетворювача частоти в частині вузла комутації та системи управління.

Регулювання гальмівного зусилля здійснюється переключенням АД у генераторний режим з гасінням енергії гальмування в загальному для всіх каналів АІ-АД блоці гальмівних резисторів. Тягові АД працюють при цьому в режимі самозбудження. У нормальних умовах гальмування генератор відключений від ланки постійної напруги випрямної установки В, вентилі якої замкнені

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

різницею напругою між напругою на гальмівному резисторі і миттєвими значеннями лінійних напружень тягового генератора. Генератор СГІ підключається випрямлячем до ланки постійної напруги тільки для початкового підзбуджувача при включенні електричних гальм в роботу і для забезпечення стійкості гальмування у разі будь-яких відхилень від нормального режиму.

Для захисту тягових інверторів в силову схему електропередачі введені спеціальні пристрої: тиристорний (ТКЗ) і механічний (МКЗ) короткозамикачі.

Специфікою застосування на тепловозах електропередачі змінного струму є те, що для реалізації граничної тягової характеристик в області високих швидкостей руху потрібно враховувати зниження величини критичного моменту тягових АД. Це викликано тим, що для отримання широкого швидкісного діапазону локомотива і більш повного використання тягового електрообладнання при його мінімальних габаритах і масі, виникає необхідність регулювання асинхронних тягових електродвигунів в зоні постійної потужності.

Такий режим керування асинхронним електроприводом, реалізований на тепловозах ЕЕ-2500. Ам 6/6 і ТЕ120 характеризується тим, що при підвищенні швидкості руху тепловоза величина критичного моменту знижується швидше електромагнітного моменту, що розвивається асинхронними тяговими електродвигунами. При перевищенні певної швидкості руху тепловоза момент опору, приведений до валу АД, може перевищити величину критичного моменту. У цьому випадку порушиться умова статичної рівноваги тягової електропередачі, т. з. вона вже не буде здатна передавати потужність від дизеля до рушійних осей локомотива.

На тепловозі були застосовані тягові АД типу ЕД900. Особливістю роботи АД в розглянутій передачі є живлення їх від джерела несинусоїдальної напруги. Це накладає специфічні вимоги на вибір параметрів і геометрії електродвигуна, пов'язаних, зокрема, зі зменшенням додаткових втрат.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОВОЗА 2ТЕ116

2.1 Вибір тягового електродвигуна для модернізованої передачі

Підбір двигуна для електроприводу передбачає ретельне визначення його типу та основних номінальних параметрів: потужності, напруги, частоти обертання та здатності витримувати перевантаження. Від коректності цього вибору безпосередньо залежить стабільна та тривала робота всього привідного механізму в усіх запланованих режимах. На процес вибору впливає цілий комплекс вимог, що випливають із характеристик мережі живлення, способу монтажу двигуна, умов навколишнього середовища та заданого режиму роботи самого приводу.

Так, параметри електромережі диктують вибір типу двигуна – постійного чи змінного струму, однофазний чи трифазний варіант, а також його номінальну напругу. Від умов встановлення та особливостей експлуатації залежить конструктивне виконання двигуна, наприклад, наявність лап чи фланця, рівень захисту корпусу, а також його кліматична категорія, призначена для роботи в помірному, холодному чи тропічному середовищі. Режим, у якому працюватиме електропривід, формує вимоги до динамічних і статичних характеристик обраного двигуна.

З урахуванням усіх параметрів та вимог, що виникають при модернізації тепловозів серії 2ТЕ116, для їх електроприводу було обрано асинхронний двигун моделі АІР355М2. Детальні технічні характеристики двигуна зведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики асинхронного електродвигуна типу АІР355М2

Потужність, кВт	Номінальна частота обертання	Максимальний струм, А	Тривалий струм, А	ККД, %	Коефіцієнт ковзання	Маса, кг
385	2926	959	469	95,5	9,885	2359

Механічні характеристики асинхронного електродвигуна типу АІР355М2 наводимо на рис. 2.1.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



Рисунок 2.1 – Механічні характеристики асинхронного електродвигуна типу AIR355M2:

1 – при живленні струмом 50 Гц; 2 – 38 Гц; 3 – 25,2 Гц; 4 – 13 Гц

Для виконання побудови тягової характеристики тепловоза серії 2ТЕ116 наводимо механічні характеристики у вигляді залежностей $M_{\text{дв}} = f(n_{\text{дв}})$, $n_{\text{дв}} = f(v)$ на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Електромеханічні характеристики електродвигуна типу AIR355 при живленні струмом 50 Гц

Оскільки запропоновано використовувати інвертор змінної частоти для

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

роботи електродвигуна в режимах з максимальним ККД, а його стандартні характеристики наведені для частоти мережі 50 Гц, виникає необхідність їх корегування. Для цього ми обмежуємо розгляд характеристик значенням оптимального коефіцієнта ковзання, який прийнято рівним 0,185. Відповідно, було виконано пропорційний перерахунок залежності частоти обертання двигуна з урахуванням цього оптимального параметра. Графічне представлення цієї перерахованої залежності наведено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Перераховані електромеханічні характеристики електродвигуна типу АІР355М2

2.2 Розрахунок технічних характеристик базового тепловоза

2.2.1 Визначення основних параметрів тепловоза

Дотична потужність тепловоза δ , кВт

$$\delta \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (2.1)$$

де δ – розрахункова дотична сила тяги, $\delta=496$ кН;

p – розрахункова швидкість, $p=24,2$ км/год.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$\dot{d} = \frac{242}{1000} \text{ кВт.}$

Потрібна ефективна потужність дизеля \dot{e} , кВт

$$\dot{e} = \frac{\dot{d}}{n \delta_{оп} c}, \quad (2.2)$$

де n – ККД передачі;

$\delta_{оп}$ – коефіцієнт, який враховує витрату енергії на привід допоміжних агрегатів тепловоза;

c – кількість секцій у складі тепловоза.

ККД електричної передачі змінного струму

$$n_{гвудвм}, \quad (2.3)$$

де $n_{гвудвм}$ – ККД відповідно тягового генератора, випрямної установки, ТЕД, тягового осьового редуктора. Приймаємо $n_{гвудвм} = 0,9$.

$n_{гвудвм} = 0,9$.

Коефіцієнт $\delta_{од}$ визначається з виразу

$$\delta_{од} = \frac{\dot{e} \sum \delta_{оп}}{\dot{e}}, \quad (2.4)$$

де $\sum \delta_{оп}$ – сумарні витрати потужності на привод допоміжних агрегатів, який приймається згідно [1] по базовому тепловозу, $\sum \delta_{оп} = 0,01$ кВт.

Для визначення \dot{e} та $\delta_{оп}$ складаємо та розв'язуємо систему рівнянь з виразів (2.2) та (2.4). Розв'язавши систему рівнянь отримаємо $\dot{e} = 2286$ кВт; $\delta_{оп} = 0,902$.

Мінімальна зчїпна маса $zч$, кН, у одній секції тепловоза визначається за умови його руху по розрахунковому підйому зі сталою швидкістю без буксування

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$zч \frac{d}{v \cdot p \cdot r \cdot c}, \quad (2.6)$$

де p – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою при розрахунковій швидкості;

v – коефіцієнт використання зчіпної маси, значення якого залежить від конструкції екіпажної частини тепловоза та розташування ТЕД (для тепловоза 2ТЕ116 $v_{\text{нн}}$).

Коефіцієнт зчеплення

$$p = \frac{0,101 \cdot \frac{1}{253,1 \cdot r}}{p}; \quad (2.7)$$

$$p = \frac{0,101 \cdot \frac{1}{253,1 \cdot r}}{0,210 \cdot 0,202};$$

$$zч \frac{34 \cdot 338}{0,210 \cdot 0,210 \cdot 0,202 \cdot 0,101} \text{ кН.}$$

Отримане значення $zч$ перевіряємо на виконання умови:

$$zч \leq q, \quad (2.8)$$

де q – осьове навантаження тепловоза, кН.

$$\frac{338 \cdot 34}{0,210 \cdot 0,210 \cdot 0,202} \text{ кН.}$$

Умова виконується.

2.2.2 Визначення параметрів тягового осьового редуктора

Основним параметром тягового осьового редуктора є передаточне число

$$\frac{2}{1}, \quad (2.9)$$

де 1 – число зубців веденої шестерні (зубчастого колеса);

2 – число зубців ведучої шестерні.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Передаточне число за умови забезпечення заданої швидкості v на розрахунковому підйомі

$$1 \frac{\partial_{\infty} k}{\partial_{\infty}}, \quad (2.10)$$

де ∂_{∞} – тривала сила тяги одного КМБ, $\partial_{\infty}=41,36$ кН;

k – діаметр рушійних коліс тепловоза по колу кочення, $k=1,05$ м;

∂_{∞} – момент обертання на валу якоря ТЕД у тривалому режимі, кН·м.

Тривалий момент ∂_{∞} , кН·м, на валу ТЕД визначається виходячи з потужності ∂ і частоти обертання якоря у тривалому режимі роботи ТЕД

$$\partial_{\infty} = \frac{\partial v}{\partial_{\infty}}; \quad (2.11)$$

$$\partial_{\infty} = \frac{\partial v}{\partial_{\infty}} \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$1 \frac{\partial_{\infty} v}{\partial_{\infty}}.$$

Отримане значення передаточного числа 1 перевіряємо по найбільшій частоті обертання якоря ТЕД під час руху тепловоза з конструкційною швидкістю v .

Максимальна частота обертання коліс тепловоза k , хв^{-1}

$$k = \frac{v_{\text{max}}}{k} \text{ хв}^{-1}. \quad (2.12)$$

$$k = \frac{v_{\text{max}}}{k} \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне число за умови, що при конструкційній швидкості руху тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує частоту обертання, що припускається заводом-виготовником

$$2 \frac{\partial v_{\text{max}}}{k}. \quad (2.13)$$

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

2.

З двох отриманих значень 1 і 2 приймаємо менше, ...

Остаточне передаточне число приймаємо таким, щоб довжина централі А (відстань між осями ТЕД і колісною парою) у порівнянні з аналогічним параметром базового тепловоза залишалася незмінною. Відстань $A = 468,8$ мм.

Для прийнятих значень довжини централі А і модуля зчеплення, необхідно визначити сумарне число зубців тягового редуктора. А потім число зубців ведучої 1 і веденої 2 шестерень.

Ці параметри тягового редуктора зв'язані між собою рівнянням

$$\frac{12}{\dots}, \quad (2.14)$$

де ... – модуль зчеплення, значення якого приймаємо ...

За формулами (2.9) і (2.14) складаємо систему рівнянь і розв'язуємо її відносно двох невідомих 1 і 2. Отримані значення округлюються до цілого числа, а потім встановлюється остаточне розрахункове значення передаточного числа. Бажано, щоб 1 і 2 мали парну і непарну кількість зубців. Після проведених розрахунків отримуємо 1-2, p .

Найбільша частота обертання якоря ТЕД при конструкційній швидкості руху проектного тепловоза

$$\frac{p}{\dots} \cdot k \cdot p. \quad (2.15)$$

Отримане значення не повинно перевищувати частоту обертання, що допускається заводом-виготовником, тобто:

$$\frac{p}{\dots} \cdot \text{хв}^{-1}. \quad (2.16)$$

Умова виконується.

Розрахункова сила тяги тепловоза d , що відповідає тривалому струму ТЕД, уточнюється по остаточному прийнятому значенню p :

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\frac{\partial \cdot \partial v \infty \cdot p \cdot}{k}; \quad (2.17)$$

$\partial \cdot \partial v \infty \cdot p \cdot$ кН.

2.2.3 Розрахунок електротягових характеристик КМБ базового тепловоза

Електротяговими характеристиками називаються залежності дотичної сили тяги ∂v одного колісно-моторного блоку та швидкості руху тепловоза від струму навантаження ТЕД ∂v .

Ці характеристики будуються для сформованого колісно-моторного блоку, який включає тяговий електродвигун, колісну пару та тяговий редуктор.

Електротягові характеристики колісно-моторного блока тепловоза розраховуються у такій послідовності.

Необхідно задатися значеннями струму ∂v для всіх трьох режимів роботи ТЕД (ПП – повне поле, ОП1 – ослаблене поле першої ступені, ОП2 – ослаблене поле другої ступені).

Для обраних (не менш п'яти) значень струму ∂v по електромеханічним характеристикам (рис. 2.4, табл. 2.2) необхідно знайти відповідні їм значення.



Рисунок 2.4 – Електромеханічні характеристики ТЕД ЕД-118, ЕД-118А

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

потужністю 307 кВт:

1 – М(ПП), 2 – М(ОП1), 3 – М(ОП2), 4 – n(ПП), 5 – n(ОП1), 6 – n(ОП2)

Визначити значення δv_i і δv_n , використовуючи при цьому залежності:

$$\delta v = \frac{p \cdot \delta v}{k} \cdot M, \quad (2.18)$$

$$\delta v = \frac{k \cdot \delta v}{p} \cdot n. \quad (2.19)$$

Таблиця 2.2 – Дискретні значення електромеханічних характеристик ЕД-118 потужністю 307 кВт

I, А	Значення частоти обертання n по ступені ослаблення поля			Значення обертового моменту M по ступені ослаблення поля		
	ПП	ОП8	ОП7	ПП	ОП8	ОП7
459	8783	8544	7798	7,878	8,779	8,857
699	897	8997	8465	3,867	7,876	7,976
899	388	578	878	5,745	4,594	3,334
8999	838	776	567	8,944	6,437	4,598
8959	93	739	595	8,686	6,898	4,948

Розрахунки проводимо у вигляді табл. 7.3. Результати наводимо на рис. 7.5.

Таблиця 7.3 – Дискретні значення електротягових характеристик КМБ з ЕД-888 потужністю 397 кВт

I, А	Значення швидкості v по ступені ослаблення поля			Значення сили тяги F по ступені ослаблення поля		
	ПП	ОП8	ОП7	ПП	ОП8	ОП7
459	56,3	67,5	899,9	74,6	84,8	9,88
699	35,4	44,5	64,9	33,8	74,6	87,8
899	87,7	75,3	38,5	49,7	39,3	78,5
8999	6,8	87,4	74,8	68,8	54,8	39,3

8959	4,7	89,8	77,7	73,7	58,8	47,3
------	-----	------	------	------	------	------

2.2.4 Розрахунок тягової характеристики тепловоза

Тяговою характеристикою тепловоза називається графічна залежність дотичної сили тяги тепловоза K від швидкості його руху V при заданій (фіксованій) потужності силової установки P_n . Вона розраховується та будується шляхом використання побудованих електротягових характеристик.

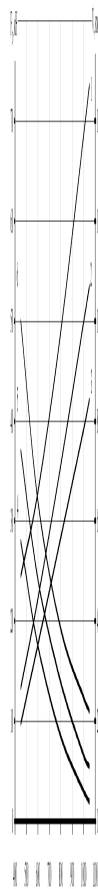


Рисунок 2.5 – Електротягові характеристик КМБ:

1 – М (ПП), 2 – М (ОП1), 3 – М (ОП2), 4 – n (ПП), 5 – n (ОП1), 6 – n (ОП2)

По кривий швидкості $v_{\text{д}}$ для кожного значення швидкості тепловоза визначається струм δ , а по кривий $\delta_{\text{в.д}}$ - відповідну цьому струму сила тяги одного колісно-моторного блока δ .

Сила тяги секції тепловоза

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$\frac{\partial \partial v}{c} \quad (2.20)$$

Для визначення швидкості переходу з одного режиму роботи ТЕД на наступний використовується співвідношення

$$\frac{n \cdot \bar{v}}{p} \quad (2.21)$$

де $n \cdot \bar{v}$ – швидкості переходів з одного режиму на наступний відповідно проектного та базового тепловозів, км/год;

p – передаточні числа тягового редуктора.

Швидкості переходів базового тепловоза заносимо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Швидкості переходів тепловоза

Ступінь ослаблення поля	ПП-ОП1	ОП1-ОП2	ОП2-ОП1	ОП1-ПП
, км/год	43,6	58,6	46,1	32,3

Тягову характеристику однієї секції тепловоза будуємо для номінальної потужності при трьох режимах роботи ТЕД. Результати розрахунку оформляємо у табл. 2.5. На тягову характеристику (рис. 2.6) наносимо обмеження сили тяги по зчепленню коліс локомотива з рейками.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза

Значення швидкості v по ступені ослаблення поля			Значення сили тяги F по ступені ослаблення поля		
ПП	ОП1	ОП2	ПП	ОП1	ОП2
87,8	37,7	46,8	658,8	487,8	796,7
35,7	44,3	64,7	395,6	307,8	706,4
43,4	58,6	800,0	377,8	770,7	887,8

2.3 Розрахунок технічних характеристик проектного тепловоза

2.3.1 Визначення параметрів тягового осьового редуктора проектного тепловоза

За умови забезпечення заданої швидкості v на розрахунковому підйомі

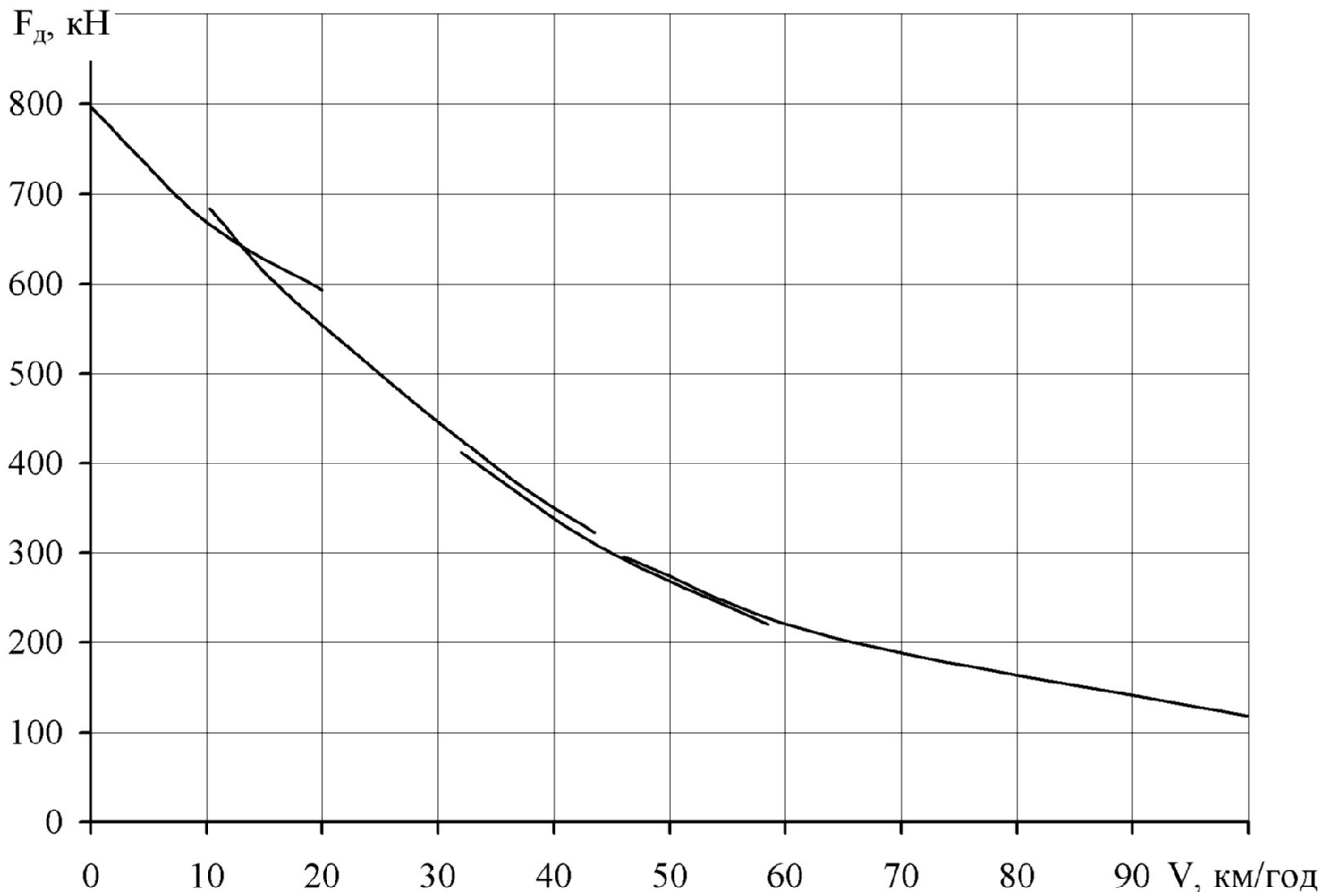


Рисунок 2.6 – Тягова характеристика тепловоза

передаточне число залежить від тривалого моменту.

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{д}} \cdot i_{\text{тр}} \quad \text{кН} \cdot \text{м.}$$

$$i_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{тр}}} .$$

Отримане значення передаточного числа i перевіряємо по найбільшій частоті обертання якоря ТЕД під час руху тепловоза з конструкційною швидкістю

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

к.

Передаточне число за умови, що при конструкційній швидкості руху тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує частоту обертання, що припускається заводом-виготовником

$$2$$

З двох отриманих значень 1 і 2 приймаємо менше, ...

Остаточне передаточне число приймаємо таким, щоб довжина централі А (відстань між осями ТЕД і колісною парою) у порівнянні з аналогічним параметром базового тепловоза залишалася незмінною. Відстань А = 468,8 мм.

Для прийнятих значень довжини централі А і модуля зчеплення . необхідно визначити сумарне число зубців тягового редуктора. А потім число зубців ведучої 1 і веденої 2 шестерень.

За формулами (2.1) і (2.7) складаємо систему рівнянь і розв'язуємо її відносно двох невідомих 1 і 2. Отримані значення округлюються до цілого числа, а потім встановлюється остаточне розрахункове значення передаточного числа. Бажано, щоб 1 і 2 мали парну і непарну кількість зубців. Після проведених розрахунків отримуємо 1-2, p.

Найбільша частота обертання якоря ТЕД при конструкційній швидкості руху проектного тепловоза не повинна перевищувати частоту обертання, що допускається заводом-виготовником (2294 хв⁻¹), тобто:

$$\frac{p}{\partial \infty} \text{ хв}^{-1}.$$

Умова виконується.

Розрахункова сила тяги тепловоза д, що відповідає тривалому струму ТЕД, уточнюється по остаточному прийнятому значенню p:

$$\partial \text{ кН.}$$

2.3.2 Розрахунок електротягових характеристик КМБ проектного тепловоза

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Розрахунок електротягових характеристик проектного тепловоза виконуємо на підставі електромеханічних характеристик (рис. 2.3). Для цього знаходимо точки робочої частини характеристики та зводимо їх у табл. 2.6.

Розрахунки електротягових характеристик проводимо у вигляді табл. 2.7. Результати наводимо на рис. 2.7.

Таблиця 2.6 – Дискретні значення електромеханічних характеристик ТЕД АІР355М2 потужністю 315 кВт

Струм I , А	Частота обертання n , хв ⁻¹	Обертний момент M , кНм
295	2926	8,9238
495	2648	8,9392
695	2888	8,9683
895	8368	8,8864
959	9	8,2238

Таблиця 2.7 – Дискретні значення електротягових характеристик КМБ з АІР355М2 потужністю 315 кВт

Струм I , А	Швидкість V , км/год	Сила тяги F , кН
295	899,9	88,22
495	99,8	88,34
695	75,3	88,63
895	47,2	82,28
959	9	83,38

2.3.3 Розрахунок тягової характеристики проектного тепловоза

Тягову характеристику тепловоза будемо для номінальної потужності. Результати розрахунку оформляємо у табл. 2.8. На тягову характеристику

(рис. 2.8) наносимо обмеження сили тяги по зчепленню коліс локомотива з рейками.

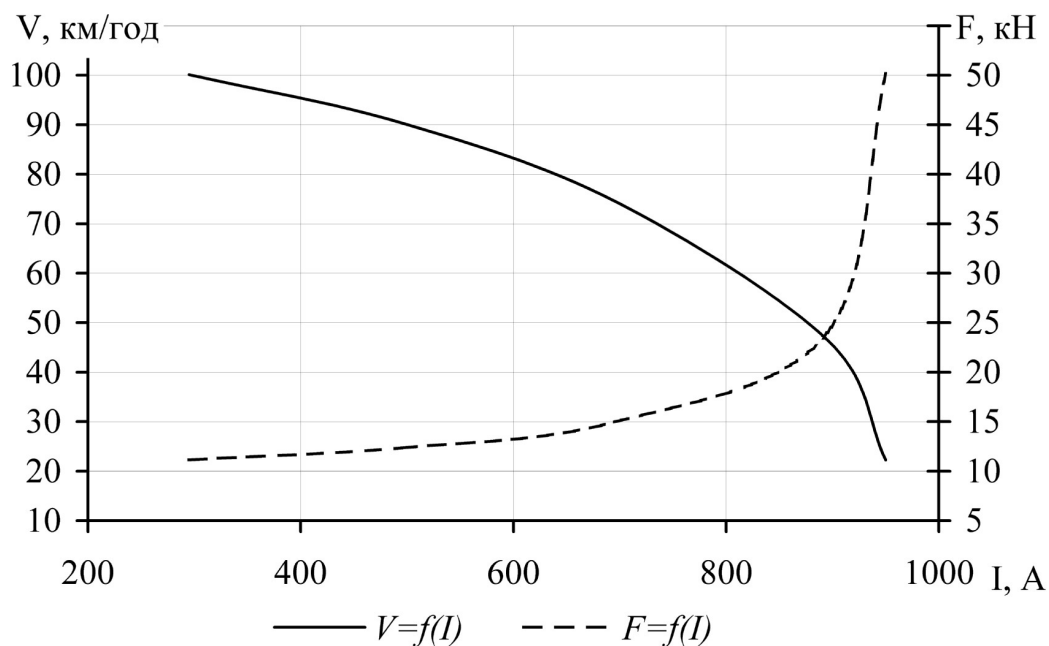


Рисунок 2.7 – Електротягові характеристик КМБ з АІР355М2 потужністю 315 кВт



Рисунок 2.8 – Тягова характеристика тепловоза

2.4 Порівняння тягових властивостей тепловозів

Пропонуємо виконати порівняння тягових властивостей тепловозів інтегральною оцінкою тягових характеристик. Для цього необхідно знайти площу фігури, обмежену осями швидкості та сили тяги, а також залежністю $i_{тр}$.

Виконуємо інтерполяцію тягових характеристик лінійним поліномом:

- для базового тепловоза $i_{тр} = a_0 + a_1 V$;
- для проектного тепловоза $i_{тр} = a_0 + a_1 V$.

Інтегруємо отримані функції в межах допустимих швидкостей

$$\int_{V=0}^{V=100} i_{тр} dV \quad (2.22)$$

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку тягової характеристики проектного тепловоза

Значення швидкості V , км/год	Значення сили тяги F , кН
899,9	834,9
99,9	848,5
75,8	889,9
69,5	287,8
47,5	288,5
49,8	358,6
39,3	492,8
22,8	692,2

Отримуємо такі значення:

- для базового тепловоза – 34980 кН·км/год;
- для проектного тепловоза – 35710 кН·км/год.

Визначаємо відносну різницю отриманих значень

$$\frac{\int_{V=0}^{V=100} 1I_{\text{прив}} \cdot \int_{V=0}^{V=100} 2,2I_{\text{прив}}}{\int_{V=0}^{V=100} 1I_{\text{прив}}} ; \quad (2.23)$$

... %.

Отже, можна стверджувати, що використання тягових електродвигунів типу АІР355М2 потужністю 315 кВт у сукупності з інверторною системою керування в приводі тепловоза серії 2ТЕ116 може підвищити тягові властивості тепловоза на 2,1%.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

З ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ

3.1 Спрявлення профілю колії

Спрявлення профілю полягає в заміні двох або кількох суміжних елементів поздовжнього профілю колії одним елементом, довжина якого c дорівнює сумі довжин елементів, що спрямлюються.

Елементи профілю, на яких розташовані станції, елементи з розрахунковим і швидкісним підйомами, а також елементи з найкрутішими спусками не спрямляються. Результати спрявлення профілю ділянки зводимо в табл. 3.1.

3.2 Визначення розрахункового підйому

Розрахунковий підйом – це найбільш важкий для руху в даному напрямку елемент, на якому при наявній масі складу досягається розрахункова швидкість і відповідна розрахункова сила тяги локомотива. Розрахунковий підйом – один з основних параметрів, які визначають масу складу, яка може бути перевезена по ділянці при заданих умовах.

В нашому випадку розрахунковий підйом $i=9\%$, $S=7600$ м.

3.3 Розрахунок маси складу

Маса складу – один з найважливіших показників роботи залізничного транспорту. Збільшення маси складів дозволяє підвищити перевізну спроможність залізничних ліній, зменшити витрату пального і електричної енергії, знизити собівартість перевезень. Тому масу вантажного складу визначають, виходячи з повного використання тягових якостей локомотива.

Для обраного розрахункового підйому масу складу в тонах вираховуємо за формулою:

$$\frac{0}{0}, \quad (3.1)$$

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 3.1 – Результати спрямлення профілю дільниці

Номер елемента	Крутизна елемента	Довжина елемента	Радіус кривої	Довжина кривої	Довжина спрямленого елемента	Крутизна спрямленого елемента	Фіктивний підйом	Сумарна крутизна в прямому напрямі	Номер спрямленого елемента	Станція
8	8,6	2949			2949	8,6		8,5	8	Е
2	-8,8	889			8659	-9,53		-9,53	2	
3	9	779								
4	4,2	889			2889	3,38	9,898	3,5	4	
5	3,2	8939	575	499						
6	9	2999			2979	-9,74		-9,74	4	
7	-2,6	889								
8	-9	9469			9469	-9		-9	5	
9	-88	2299	8299	459	2299	-88	9,846	-89,9	6	
89	9	839			4579	8,98		8,98	7	
88	8,8	8659								
82	3,2	8899								
83	9	999								
84	-8,6	2759			2759	-8,5		-8,5	8	К
85	-8,8	8439			8439	-8		-8	9	
86	-5,3	999	999	599	8659	-3	9,259	-2,74	89	
87	9	669								
88	89,5	8659			8659	89,5		89,5	88	
89	9	8369			8369	9		9	82	
29	9	8879	8299	659	8879	9	9,288	9,288	83	
28	2,8	8899			8989	2,44	9,392	2,75	84	
22	3,2	889	999	799						
23	8,8	8989			8989	8		8	85	А
Сума		47379			47379					

де d_p – розрахункова сила тяги локомотива, Н;

P – розрахункова маса локомотива, т;

0 – основний питомий опір локомотива, Н/кН;

0 – основний питомий опір складу, Н/кН;

p – крутизна розрахункового підйому, ‰;

g – прискорення вільного падіння; ... м/с².

В нашому випадку $\partial p = 496$ кН; $\partial p = 496$ кН; $P = 271$ т; $p = 9\%$;
 $p = 24,2$ км/год.

Величини 0 і 0 визначаємо для розрахункової швидкості локомотива p .
Питомі сили відносимо до 1 кН ваги рухомого складу.

Основний питомий опір локомотива в Н/кН підраховуємо за формулою:

$$0 \dots 2; \quad (3.2)$$

$$0 \dots 2 \text{ Н/кН.}$$

Основний питомий опір складу в Н/кН визначаємо за формулою:

$$0 \dots 04 \dots 06 \dots 08, \quad (3.3)$$

де ... – відповідно долі 4- 6- і 8-вісних вагонів в складі за масою, ... згідно
вихідних даних;

04 – основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів, Н/кН;

08 – основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів, Н/кН.

Основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів:

– при підшипниках ковзання

$$04_{ков} \dots \frac{2}{04}, \quad (3.4)$$

– при роликових підшипниках

$$04_{ков} \dots \frac{2}{04}, \quad (3.5)$$

де 04 – маса, яка приходить на одну колісну пару 4-вісного вагона, т/вісь.

У нашому випадку згідно вихідних даних

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$04_{\text{коч}} + 04_{\text{ков}} \quad (3.6)$$

Основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів

$$08 \frac{2}{08} \quad (3.7)$$

де 08 – маса, яка приходить на одну колісну пару 8-вісного вагона, т/вісь,

$$04 \frac{4}{08} \frac{8}{8} \quad (3.8)$$

де 04 08 – маса бруто відповідно 4- і 8-вісного вагона, т.

$$04_{\text{коч}} \text{ т/вісь};$$

$$04_{\text{ков}} \text{ т/вісь};$$

$$08 \text{ т/вісь.}$$

$$04_{\text{коч}} \frac{2}{215} \text{ Н/кН};$$

$$04_{\text{ков}} \frac{2}{215} \text{ Н/кН};$$

$$08 \frac{2}{215} \text{ Н/кН};$$

$$0 \text{ Н/кН};$$

$$0 \text{ Т.}$$

Розраховану масу складу у відповідності з ПТР округлюємо, тобто $Q=4750\text{т}$.

3.3 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил складаємо таблицю для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній дільниці:

- для режиму тяги $\partial 0.1$;
- для режиму холостого ходу $0x.2$;
- для режиму гальмування: при службовому регульовальному гальмуванні

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

0x.2.3», при екстреному гальмуванні 0x.2.4».

Всі результати обчислень заносимо в розрахункову табл. 3.2, 3.3. За даними таблиць будуюмо діаграми питомих рівнодіючих сил для режиму тяги $g.0.1$ », режиму холостого ходу 0x.2» і режиму службового гальмування 0x.2.3» (рис. 3.1, 3.2).

3.4 Вирішення гальмівної задачі

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда по дільниці, необхідно вирішити гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимально допустимої швидкості руху поїзда по найбільше крутому спуску дільниці ...% при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху. Цю задачу вирішуємо графічним способом. Повний гальмівний шлях

$$g.n.d, \quad (3.9)$$

де n – шлях підготовки гальм до дії, на протязі якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими;

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

0032.240131.000.03MP.ПЗ

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

0032.240131.000.03MP.ПЗ



Рисунок 3.2 – Діаграма пигомих рівнодіючих сил (локомотив – тепловоз серії 2ТЕ116, маса складу 4750 т)

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

0032.240131.000.03МР.ПЗ



Рисунок 3.3 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив – тепловоз серії 2ТЕ116', маса складу 4750 т)

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

0032.240131.000.03МР.ПЗ

δ – дійсний гальмівний шлях, на протязі якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами (кінець шляху S_n співпадає з початком шляху δ).

За формулою

$$k = \frac{c \cdot \text{ох} \cdot z}{n} \quad (3.10)$$

будуємо залежність питомих сповільнюючих сил при екстреному гальмуванні, прийнявши $a = 10$ м. Результати наводимо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розв’язання гальмівної задачі

<i>поч</i> , км/ГОД	<i>ох з</i> , н/кН	<i>к</i> , м	<i>к</i> , км/ГОД
9	84,8	89	83
83	58,7	29	87
87	54,6	39	29
29	58,4	49	22
...
85	38,7	8899	85
85	38,7	8299	86

На цей же графік наносимо залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості

$$n_{\text{підгот}} = \text{поч} \cdot n, \quad (3.11)$$

де *поч* – швидкість на початку гальмування, км/год;

n – час підготовки гальм до дії; цей час для автогальм вантажного типу рівний для складів довжиною 200-300 осей:

$$n = \frac{c}{z}, \quad (3.12)$$

де *c* – крутизна ухилу, для якого розв’язується гальмівна задача;

ε – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування $v_{оч}$.

Побудова залежності підготовчого гальмівного шляху n від швидкості виконуємо по двох точках, для чого підраховуємо значення n при $v_{оч}$ (в цьому випадку $n_{оч}$) і при $v_{оч,констр}$.

$$n_{оч} = \frac{v_{оч}^2}{2 \cdot \varepsilon} \quad \text{ХВ.}$$

$$n_{констр} = \frac{v_{оч,констр}^2}{2 \cdot \varepsilon} \quad \text{М.}$$

Результати вирішення гальмівної задачі (рис. 3.4) враховуємо при побудові кривої швидкості руху поїзда $v(t)$ за тим, щоб ніде не перевищити швидкості, що допускається по гальмах, тобто щоб поїзд міг бути завжди зупинений на відстані, яка не перевищує довжини повного гальмівного шляху.

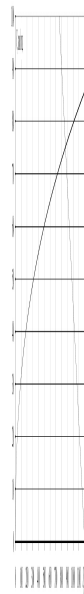


Рисунок 3.4 – Результати розв’язання гальмівної задачі

При розв’язанні гальмівної задачі визначена допустима швидкість руху по ділянці – $v_{доп} = 75$ км/год.

3.5 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму

При побудові кривої $v(t)$ враховуємо обмеження найбільшої допустимої

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

швидкості руху поїзда:

- конструктивна швидкість вантажних вагонів 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії 100 км/год;
- конструктивна швидкість локомотива 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда, визначена гальмівними засобами,

розрахована вище при розв'язуванні гальмівної задачі, 75 км/год.

Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму зображені на рис. 3.5, 3.6.

3.6 Визначення витрат енергоресурсів локомотивом

Витрати дизельного пального тепловозом на заданій дільниці, кг, визначаємо за формулою:

$$E = G \cdot tm + gx \cdot tx, \quad (3.13)$$

де E – витрата дизельного пального тепловозом на режимі тяги, що відповідає 15-му положенню ручки контролера, кг/хв;

T – сумарний час роботи тепловоза на режимі тяги, хв;

x – витрата пального тепловозом при вимкненому струмі, кг/хв;

x – сумарний час руху тепловоза на режимі холостого ходу і гальмування, хв.

Час роботи тепловоза t і x визначаємо по кривій часу $t_{\text{хв}}$ і відмітках про зміну режиму роботи тепловоза на кривій швидкості $v_{\text{км/год}}$.

Питома витрата пального на вимірювач, кг/10⁴ ткм

$$e = \frac{E}{G \cdot T + x}, \quad (3.14)$$

де G – маса складу, т;

L – довжина дільниці, для якої виконані тягові розрахунки, км.

					0032.240131.0000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



Рисунок 3.5 – Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму поїзда з тепловозом серії 2ТГ116

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.240131.000.03МР.ПЗ

Арк.

72



Рисунок 3.6 – Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму поїзда з тепловозом серії 2ТЕ116'

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

0032.240131.000.03МР.ПЗ

Арк.

73

Для тепловоза 2ТЕ116:

$$E = 2 \cdot 9 \cdot 45,1 + 2 \cdot 0,25 \cdot (96,7 - 45,1) = 485 \text{ КГ.}$$

$$e = \frac{485}{4750 - 45,180} \cdot 4 = 0,2216 \text{ КГ/10}^4 \text{ ТКМ.}$$

Для тепловоза 2ТЕ116':

$$E' = 2 \cdot 9 \cdot 42,6 + 2 \cdot 0,25 \cdot (96,7 - 42,6) = 485 \text{ КГ.}$$

$$e' = \frac{485}{4750 - 45,180} \cdot 4 = 0,2179 \text{ КГ/10}^4 \text{ ТКМ.}$$

Визначимо відсоткові різниці показників

$$n = \frac{m \cdot m'}{m} \quad (3.15)$$

де m, m' – значення параметрів тягових розрахунків, для яких виконується порівняння;

n – параметр.

$$e = \frac{485 - 485}{4750 - 45,180} = 0$$

За результатами порівняння можна зробити наступні висновки. За розрахунками витрата енергоресурсів знизилась на 1,2% для поїзда зі складом 4750 т з тепловозом серії 2ТЕ116, загальний час поїздки не змінився, технічна швидкість також залишилась без змін.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

ВИСНОВКИ

На сьогодні ключовою проблемою українських залізниць, включаючи приватні компанії, залишається критичний ступінь зношеності парку локомотивів. Оновлення цього парку шляхом заміни застарілих моделей на сучасні тепловози нового покоління є необхідною умовою для підвищення конкурентоспроможності та рентабельності перевезень. Однак такий шлях потребує значних одноразових капіталовкладень у розвиток виробничих потужностей, а також тривалого часу на організацію серійного виробництва нових локомотивів, що відповідають сучасним стандартам. Саме тому паралельно з освоєнням виробництва нової техніки проводиться глибока модернізація існуючого рухомого складу з подовженням його терміну служби. Цей процес орієнтований на дотримання актуальних вимог щодо економії паливно-мастильних матеріалів, підвищення екологічності та надійності роботи.

У першому розділі роботи було розглянуто основні світові напрями модернізації тягового рухомого складу. На основі проведеного аналізу можна виділити наступні першочергові завдання для оновлення тепловозів: досягнення економії та зниження витрати паливно-мастильних матеріалів під час експлуатації; зменшення трудомісткості планового технічного обслуговування та поточних ремонтів; збільшення міжремонтних пробігів за рахунок переорганізації виробництва ремонтів і скорочення кількості непланових відновлювальних робіт; поліпшення санітарно-гігієнічних та ергономічних умов праці для локомотивних і ремонтних бригад; а також виконання перспективних екологічних вимог щодо вмісту шкідливих речовин і рівня димності у вихлопних газах.

У другій частині роботи детально описано модифікацію електричної передачі тепловозів серії 2TE116 з переведенням її на асинхронні тягові двигуни. Тип трифазного асинхронного двигуна був обраний для забезпечення необхідних тягових якостей локомотива. Були виконані розрахунки основних параметрів базового та модернізованого варіантів, включаючи характеристики редуктора та колісно-моторного блоку, а також побудовано графік тягової характеристики.

Порівняльний аналіз тягових характеристик базового та проектного

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

локомотивів за допомогою інтегральної оцінки показав, що завдяки використанню асинхронного двигуна потужністю 315 кВт та інверторної системи керування ці характеристики можуть бути поліпшені на 2,1%.

Для визначення ефективності модернізації також були проведені комплексні тягові розрахунки. Під час цієї роботи було проаналізовано та скориговано профіль колії, визначено розрахунковий підйом, розраховано та підтверджено уніфіковану вагу поїздів. Були побудовані діаграми питомих рівнодіючих сил для режимів тяги, холостого ходу та гальмування, а також з високою точністю вирішено гальмівну задачу. На основі побудованої траєкторії руху поїзда, що включає криві швидкості, часу ходу та струму генератора, виконано розрахунки для оцінки енергоефективності. Визначення енергоспоживання локомотива дозволило зробити висновок, що витрата енергоресурсів для поїзда масою 4750 т з тепловозом 2ТЕ116 знизилась на 1,2%. Загальний час поїздки та технічна швидкість при цьому залишилися без змін. Оскільки значення технічної швидкості та часу ходу ідентичні, можна стверджувати, що досягнута економія палива була забезпечена виключно за рахунок модернізації електричної передачі.

					0032.240131.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мовчан А. Опыт проведения модернизации тепловозов серии М62, 2М62 и 2М62У на UAB VILNIAUS LOKOMOTIVU REMONTO DARAS /А. Мовчан, Ф. Винклер //Локомотив-информ. – 2007. – №11. – С. 36-38.
2. Винклер Ф. Спрос на модернизацию тепловозов растёт /Ф. Винклер //Локомотив-информ. – 2008. – №4 – С. 20-22.
3. Бондаренко Л.М. Основные направления модернизации /Л.М. Бондаренко, Е.И. Нестеров, И.В. Сазонов //Тяжёлое машиностроение. – 2006. – №8. – С. 18-22.
4. Боднар Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобир Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2008. – 287 с.
5. Боднар Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобир Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 360 с.
6. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства: підручник /Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Є.Б. Боднар, О.Б. Очкасов; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с.
7. Колесников М.А. Модернизации быть! //Локомотив-информ. – 2008. – №5. – С. 18-20.
8. Петрович Ю.М. Модернизация тепловозов: оптимальное решение /Ю. М. Петрович //Локомотив-информ. – 2007. – №10. – С. 24-26.
9. Малах О. М. Тепловоз 2ТЕ116У соответствует всем требованиям заказчика /О. М. Малах //Локомотив-информ. – 2008. – №4. – С. 25-26.
10. Двигатели унифицированного мощностного ряда Д80 /В.Н. Зайончковский, А.М. Момот, В.Ю. Ковалев, В.Г. Журавель //Локомотив-информ. – 2007. – №10. – С. 42-44.

					0032.240131.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

11. Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів 2ТЕ116, які затверджені наказом Укрзалізниці від 20.03.2013 №075-Ц/од. – К.: вид-во Укрзалізниці, 2013. – 47 с.
12. Теорія та конструкція локомотивів: Методичні вказівки до виконання курсового проекту, розділ «Розрахунок техніко-економічних характеристик» /Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. ак. В. Лазаряна; Уклад.: Д. В. Бобирь, Л. С. Казаріна, М. І. Мартишевській, Є. Г. Нечаєв. – Дніпропетровськ, 2006. – 30 с.
13. Бобирь, Д. В. Теорія та конструкція локомотивів: методичні вказівки до курсового проектування: у 3 ч. – Ч. 3. Динамічне вписування тепловоза в криву /Д. В. Бобирь, Я. В. Болжеларський, Є. Г. Нечаєв; Дніпропетр. нац. ун-т. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 22 с.
14. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги: підручник. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 385 с.
15. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: монография: в 2 т. / Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 1. – 450 с.
16. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: Монография: в 2 т. / Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 2. – 361 с.

					<i>0032.240131.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78