

ГОСУДАРСТВЕННАЯ АДМИНИСТРАЦИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА В.ЛАЗАРЯНА

ВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ТРАНСПОРТНОЙ АКАДЕМИИ УКРАИНЫ

НПП "УКРТРАНСАКАД"



Материалы  
III Международной  
научно-практической конференции  
"ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА"  
"ТРАНСЭЛЕКТРО - 2009"  
(03.06 - 05.06.2009)

Мисхор  
2009



ГОСУДАРСТВЕННАЯ АДМИНИСТРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЖЕЛЕЗНО-  
ДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА  
В. ЛАЗАРЯНА

ВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ТРАНСПОРТНОЙ АКАДЕМИИ УКРАИНЫ



*Посвящается 100-летию  
со дня рождения академика  
В.А. Лазаряна*



**Материалы  
III Международной научно-практической конференции  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА  
«ТРАНСЭЛЕКТРО-2009»**

**Матеріали  
III Міжнародної науково-практичної конференції  
ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ  
«ТРАНСЕЛЕКТРО-2009»**

**Proceedings  
of the III International Scientific Conference  
ELECTRIFICATION ON TRANSPORT  
«TRANSELECTRO - 2009»**

3 – 5 июня 2009 г.

Днепропетровск  
2009



**УДК 621.331**

**Электрификация транспорта «ТРАНСЭЛЕКТРО-2009»:** Материалы III Международной научно-практической конференции (Мисхор, 03-05 июня 2009 г.) – Д.: ДНУЖТ, 2009. – 77 с.

В сборнике представлены материалы III Международной научно-практической конференции «Электрификация транспорта ТРАНСЭЛЕКТРО-2009», которая состоялась 03 – 05 июня 2009 г. в п. Мисхор, АР Крым.

Сборник предназначен для научно-технических работников железных дорог, предприятий транспорта, научных организаций, преподавателей и ученых высших учебных заведений, аспирантов и студентов.

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Мямлин С. В. - д.т.н., проф. (ДИИТ, Украина) - председатель  
Гетьман Г. К. - д.т.н., проф. (ДИИТ, Украина) - заместитель председателя  
Сыченко В.Г. - к.т.н. (ДИИТ, Украина) - заместитель председателя  
Михайленко Ю.В. – к.т.н., доц. (ДИИТ, Украина)  
Матусевич А.А. – к.т.н., доц. (ДИИТ, Украина)

Адрес редакционной коллегии:

49010, г. Днепропетровск, ул. Академика Лазаряна, 2, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Материалы в сборнике печатаются на языке оригинала в редакции авторов.



## **СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»**

### **Аналіз причин пошкоджень елементів рами візка вагона метрополітену**

Атлас М.В. (КП „Київський метрополітен”), Донченко А.В., Яланський М.І.,  
Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В. (ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук)

Як свідчить досвід експлуатації, товстостінні елементи (поздовжні та поперечні балки) рам візків вагонів метрополітену за призначений термін служби не втрачають своєї несучої спроможності і наприкінці терміну служби мають задовільний технічний стан. Менш надійними є елементи кріплення різних вузлів візка, що розташовані на його рамі.

Оскільки продовження терміну експлуатації рам, як основного несучого елемента візка, є одним з факторів успішної роботи вагонів метрополітену, актуальність питань надійності елементів підвішування вузлів візка не викликає сумніву.

Попереднім аналізом карт реєстрації ремонтів рам візків Київського метрополітену встановлено, що елементами конструкції рами, які більш часто потребують ремонту є:

- кронштейни підвішування буксових повідків (тумби);
- верхні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- нижні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- кронштейни запобіжних скоб центрального підвішування;
- наличники центрального прорізу.

Статистичні дані свідчать, що після поновлювального ремонту КР-2 частість відмов елементів кріплення кронштейнів підвішування буксових повідків (тумб) за звітний період може зростати до 0,04, нижніх кронштейнів підвішування тягових двигунів – до 0,154, кронштейнів запобіжних скоб – до 0,1, а пошкодження наличників центрального прорізу – до 0,93.

Виходячи з умов експлуатації, встановлено, що:

- всі елементи кріплення сприймають різнонаправлену дію сил і основним видом їхнього пошкодження (відмови) є тріщини зварних швів, іноді з переходом на основний метал;

- основною причиною виникнення тріщин в елементах рами візка є втомленість металу, що виникає при роботі рами в умовах знакоперемінних навантажень та її достроковій експлуатації;

- тривалість міжремонтного пробігу прямо пов'язана з якістю технології ремонту, виконання зварних швів, кількістю та якістю запасних частин, матеріалу тощо. Аналіз якості технології ремонту дозволить визначити ті складові, що потребують удосконалення.

### **Визначення показників надійності елементів рами візка вагона метрополітену**

Атлас М.В. (КП „Київський метрополітен”), Донченко А.В., Яланський М.І.,  
Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В. (ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук)

На залізничний транспорт метрополітенів припадає лівова частка пасажироперевезень таких великих міст як Київ, Харків, Дніпропетровськ тощо. Забезпечення його безпечної та безпечної роботи – головна задача всіх служб цієї галузі.

Оскільки рама візка є його основним несучим елементом, що призначена для передачі та розподілу вертикальних навантажень між колісними парами, сприйняття та передачі на раму кузова тягового зусилля, гальмівної сили тощо, то до неї пред'являються особливі вимоги, а забезпечення її міцності, опору втомі і динамічним навантаженням безпосередньо впливає як на якісну роботу закріплених на ній механізмів та приладів, так і на безпеку руху в цілому.



Авторами були виконані дослідження з визначення показників надійності елементів рами візка вагона метрополітену на підставі проведеного аналізу карт реєстрації ремонтів рам візків за формою Київського метрополітену.

Програмою досліджень було передбачено:

- збір статистичного матеріалу про технічний стан елементів рами за строками експлуатації,
- первинна обробка отриманих даних,
- вияв закономірностей та моделювання процесу появи пошкоджень та відмов елементів рам візків;
- визначення чисельних значень показників надійності елементів рам візків вагонів метрополітену.

Зібрана інформація була піддана первинній якісній та кількісній обробці з метою відсіву недостовірного матеріалу. При ранжируванні матеріалів обстеження враховувалися види і відповідні їм моделі відмов.

Первинна обробка статистичних даних була представлена обчислювальними процесами, вихідними даними яких були термін експлуатації, кількість оглянутих та кількість ушкоджених елементів в часовому інтервалі.

У зв'язку з тим, що основні ушкодження, які приводять до відмови, мають утомний характер, у якості теоретичного закону приймався розподіл Вейбула, окремим випадками якого є нормальний та експоненціальний закони. В якості методу статистичного оцінювання параметрів розподілу використовувався метод максимальної правдоподібності.

Вирівнювання експериментальних даних проводилося методом найменших квадратів, при цьому в формулу підставлялися емпіричні значення імовірності відмови елемента, а сама задача зводилася до визначення таких значень коефіцієнтів, які мінімізують суму відхилень емпіричних значень і значень, визначених за формулою.

Визначені показники надійності елементів рам візків вагонів метрополітену можуть бути використані як для функціонально-вартісного аналізу доцільності проведення капітальних ремонтів з подовженням терміну експлуатації, так і для розробки конструктивних рішень по підвищенню показників надійності візків нового покоління.

### **Дослідження конструкції рами візка вагона метрополітену з метою визначення надійності її елементів**

Атлас М.В. (КП „Київський метрополітен”), Донченко А.В., Яланський М.І.,  
Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В. (ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук)

Об'єктом досліджень є рама моторного двовісного повідкового візка вагонів метрополітену виробництва Митіщинського машинобудівного заводу, що являє собою суцільно-зварну Н-подібну конструкцію, до якої кріпляться всі вузли візка.

Дві поздовжні та дві поперечні балки конструкції рами з'єднані в стик, місця їх з'єднань перекриті листовими косинками. На балках розташовані елементи кріплення важелів гальмівної передачі, повідків буксового підвішування, гідроамортизаторів, гальмівних циліндрів, тягових двигунів, редукторів тощо. Наличниками центрального прорізу на центральну балку, під'ятник, п'ятник і шворневу балку кузова здійснюється передача тягових і гальмівних зусиль від рами візка на раму кузова вагона.

Для дослідження з метою визначення надійності елементів конструкції рам візків були надані карти реєстрації ремонтів рам візків за формою Київського метрополітену.

Встановлено, що за свій життєвий цикл товстостінні елементи рами, поздовжні та поперечні балки, не вичерпують несучої спроможності і можуть експлуатуватися понад призначений термін служби, а елементи кріплення різних вузлів візка – кронштейни підвішування тягових двигунів, редукторів, буксових повідків тощо – потребують поновлення.



Попередній аналіз проведених ремонтів рам візків дав можливість визначитися з елементами конструкції рами, які більш часто потребують ремонту.

Предметом досліджень стали наступні елементи рами візка:

- кронштейни підвішування буксових повідків (тумби);
- верхні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- нижні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- кронштейни запобіжних скоб центрального підвішування;
- наличники центрального прорізу.

Виходячи з умов експлуатації, всі елементи конструкції рами візка, що розглядалися на предмет надійності, були розподілені на групи за навантаженнями, які вони зазнають під час експлуатації. Встановлено, що всі елементи кріплення сприймають різнонаправлену дію сил і основним видом їхнього пошкодження (відмови) є тріщини зварних швів, іноді з переходом на основний метал.

Оскільки поновлення несучої спроможності рам візків вагонів метрополітену з вичерпаним терміном служби здійснюється шляхом капітального ремонту другого об'єму (КР-2) з обов'язковою оцінкою їх технічного стану перед постановкою в ремонт, розглядалася надійність елементів кріплення до і після виконання рамам візків вказаного виду ремонту.

На підставі даних статистичного матеріалу, була виконана оцінка надійності окремих конструктивних елементів рам візків вагонів метро в залежності від терміну експлуатації після виконаного ремонту КР-1 та КР-2, яка показала, що:

- експлуатацію рам візків вагонів метрополітену з вичерпаним терміном служби може бути подовжено за умови їх задовільного технічного стану аби витрати на поновлення втраченої несучої спроможності та динамічні показники не вийшли за межі економічної доцільності необхідного ремонту;
- експлуатація візків з подовженим терміном служби потребує більш ретельного дотримання правил утримання та пильного нагляду за поведінкою їх в експлуатації;
- менш надійними елементами рам візків є кронштейни підвішування тягових двигунів, редукторів, буксових повідків, що зазнають різнонаправлену дію сил, та наличники центрального прорізу, через які здійснюється передача тягових і гальмівних зусиль від рами візка на раму кузова вагона.

### **Щодо можливості подовження терміну експлуатації візків вагонів метрополітену**

Атлас М.В. (КП „Київський метрополітен”), Донченко А.В., Яланський М.І.,  
Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В. (ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук)

Подовження терміну служби одиницям рухомого складу є одним з енерго- та ресурсозберігаючих заходів, а сьогодні, в період становлення і розвитку вітчизняних залізниць, то й найрозповсюдженим.

Згідно конструкторської документації, призначений термін експлуатації візків вагонів метрополітену становить 16 років. Однак, він може бути подовжений, якщо витрати на поновлення втраченої несучої спроможності та динамічні показники наприкінці терміну служби не виходять за межі економічної доцільності.

Дослідженнями встановлено, що за свій життєвий цикл товстостінні елементи рами, подовжні та поперечні балки, не вичерпують несучу спроможність і можуть експлуатуватися понад призначений термін служби, а елементи кріплення різних вузлів візка – кронштейни підвішування тягових двигунів, редукторів, буксових повідків тощо – потребують поновлення.



Поновлення несучої спроможності рам візків вагонів метрополітену може здійснюватися шляхом капітального ремонту другого об'єму (КР-2) з подовженням терміну експлуатації до чергового планового ремонту з обов'язковою оцінкою їх технічного стану перед постановкою вагона в ремонт.

Набутий досвід свідчить про необхідність впровадження системи нагляду за поведінкою вагонів метро в експлуатації для проведення подальших досліджень з уточненням величин дефектів і прогнозом їх розвитку за групою періодичних вимірювань, тобто „за історією”.

Необхідно враховувати, що якість ходових частин прямо пов'язана з якістю технології виробництва або ремонту. Контроль якості технології дозволяє визначити стан технології виробництва або ремонту та визначити ті складові, що потребують удосконалення.

Підвищення якості ремонту візків, і вагона в цілому як транспортного засобу, повинно, з одного боку, підвищувати безпеку руху, а з іншого – знижувати експлуатаційні витрати, тобто збільшувати міжремонтний пробіг, зменшувати кількість відчеплень вагонів в неробочий парк тощо.

### **Пути снижения энергозатрат на испытания тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока**

Афанасов А.М. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

Снижение расхода электроэнергии на проведение приемо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока является одной из наиболее актуальных проблем тягового электромашиностроения. В настоящее время на ряде предприятий по изготовлению и ремонту тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока испытательные станции содержат вращающиеся электромашинные преобразователи напряжения. Как правило, это однотипные с испытуемыми электромашины, используемые по наиболее распространенной схеме взаимной нагрузки в качестве линейного генератора и вольтодобавочной машины. В качестве приводных для данных генераторов обычно используются асинхронные двигатели.

Такое последовательное преобразование мощности электромашинными агрегатами, типовая мощность которых во много раз больше самой преобразуемой мощности, приводит к существенному снижению коэффициента полезного действия процесса преобразования и повышению общего расхода электроэнергии на испытания до значения, в несколько раз превышающего собственные потери испытуемых тяговых электромашин.

Наиболее эффективным направлением решения данных проблем является замена электромашинных преобразователей на статические. При этом необходима одновременная оптимизация самой структуры схемы взаимной нагрузки. Очевидная необходимость модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин поднимает одним из наиважнейших вопрос о том, какой из вариантов схемы испытания будет наиболее рациональным для данного типа испытуемых электрических машин. Даже поверхностный анализ параметров существующего типового ряда тяговых электромашин и известного количества вариантов схем взаимной нагрузки показывает, что данная проблема весьма актуальна и требует более глубокого исследования.

Простая замена существующих вращающихся источников, используемых в испытательных стендах в настоящее время, на статические преобразователи без изменения принципиальных электромеханических схем стендов, во многих случаях не даст возможности использования всех преимуществ полупроводниковых преобразователей и систем автоматического управления ими. Такая модернизация испытательных станций хотя и даст по-



ложительный эффект в виде снижения энергетических затрат на испытания, но будет не наиболее рациональной, исчерпывающей все возможные резервы.

Существенным резервом в решении проблемы снижения расходов электроэнергии на проведение испытания тяговых электрических машин является проведение их приемосдаточных испытаний на нагрев без вентиляции. До настоящего времени вопрос о теоретическом определении эквивалентных токов для таких режимов испытаний остается открытым. Также неизученным остается и вопрос об оптимизации параметров и условий проведения испытаний тяговых электродвигателей без вентиляции.

### **Математична модель коливання елементів пантографа електротранспорту під впливом повітряних вихрових потоків**

Баб'як М.О., Куліченко А.Я. (Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна)

Із зростанням швидкостей руху електропоїздів зростають коливання елементів конструкції пантографа, які викликані впливом вихрового збудження зустрічних повітряних потоків. При швидкостях 80...90 км/год і більших, такі коливання суттєво впливають на технічні та експлуатаційні характеристики даного механізму і в окремих випадках можуть приводити до руйнування конструкції. На даний час відсутня узагальнена математична модель коливання окремих елементів просторових механізмів під впливом повітряних потоків. Зокрема, не виведені математичні залежності безпосереднього обчислення амплітуди коливань конструкційних елементів узагальненого виду при вихровому збудженні.

Авторами розроблений і представлений метод, що дозволяє на основі просторового механізму пантографа залізничного електротранспорту застосовувати певні математичні моделі визначення переміщення жорстких елементів з пружними опорами (враховуючи шарнірне закріплення окремих елементів конструкції) під впливом вихрових повітряних потоків. Виведені аналітичні співвідношення для амплітуди коливань жорстких і різних за геометричними розмірами елементами конструкції в діапазоні амплітуд від помірних до максимальних.

Конструкція механізму пантографа, наприклад, електровоза, у більшості своїй оснований на просторовій системі послідовно шарнірно з'єднаних елементів циліндричного поперечного перерізу. Дослідження аеропружних коливань елементів пантографа у потоці повітря є цікавим, оскільки вони є нелінійними неконсервативними функціями просторових переміщень. Тому рівняння, що описують поведінку пружної системи в повітряному потоці можна віднести до автоколиливних, вирішення яких вимагає нетрадиційного підходу.

Особливості коливань пружних просторових конструкцій у вітровому потоці полягає у присутності зворотнього зв'язку між аеродинамічними навантаженнями та параметрами коливання елементів у потоці. У деяких моделях аеропружних коливань конструкцій аеродинамічне зусилля задається не лише нелінійним аеродинамічним демпфуванням, але й періодичним навантаженням, викликаним зливом з бокових (обтічних) поверхонь елементів циліндричного. Таке навантаження виникає при відривному обтіканні ланок механізму і являє собою зовнішнє періодичне зусилля, частота якого залежить від геометрії конструкції та швидкості повітряного потоку. Поперечне складове зусилля взаємодії, що діє зі сторони повітряного потоку на жорсткий елемент циліндричного перерізу, який здійснює коливання при вихровому збудженні, можна з достатнім ступенем точності представити у вигляді функції від середньої поперечної швидкості потоку відносно циліндра.

Метою даної роботи є, по-перше, показати метод, за допомогою якого вихрові моделі для жорсткої просторової конструкції можна застосовувати для вирішення більш загальної задачі для конструкцій із внутрішньою пружністю. По-друге, застосувати отриману модель, як підґрунтя, для обчислення максимальної амплітуди коливання широкого класу механізмів з просторовими елементами при збудженнях у повітряних вихрових потоках.



## **Использование современных полупроводниковых ключей в системах автоматического регулирования напряжения цепей управления**

Белухин Д. С. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

В настоящее время, в промышленных установках получили широкое применение силовые ключевые элементы на основе биполярных и полевых транзисторов с изолированным затвором (IGBT и MOSFET). Полная управляемость этих приборов позволяет исключить из силовых схем преобразователей устройства с принудительной коммутацией, цепи вывода прибора в рабочий режим и возвратиться к схемам преобразования в их простейшем по начертанию классическом виде. Высокие динамические характеристики таких приборов позволяют их рассматривать как идеальные управляемые ключевые приборы. Достоинства таких ключевых приборов в сочетании с современными микроконтроллерами можно использовать для замены вибрационных регуляторов напряжения цепей управления электроподвижного состава, в целях получения автоколебательного режима.

В эксплуатации находится большое количество электроподвижного состава, где основным источником энергии цепей управления является генератор постоянного тока. Стабилизация напряжения на выходе генератора осуществляется изменением тока возбуждения, которое осуществляют узла управления на основе типовых регуляторов напряжения. Подача управляющего воздействия регулятором на современной элементной базе на обмотку возбуждения зависит от выбранного способа управления. Все известные способы управления ключевыми преобразователями делятся на три основных группы: способы с запрограммированной заранее последовательностью переключения, синхронизированные способы с обратными связями, асинхронные способы. Программный способ не позволяет получить стабильное напряжение на выходе. Синхронизированные способы, основой которых служит широтно-импульсная модуляция, требуют усложнения алгоритмов программ и введения дополнительных связей. При асинхронных способах управления сигнал, пропорциональный выходному напряжению вычитается из задающего и при превышении по модулю заданного уровня осуществляется переключение силового ключа. При этом переход из одного устойчивого состояния в другое осуществляется предельно быстро в отличие от широтно-импульсных систем, где требуется несколько тактов. Асинхронный принцип осуществляется релейными системами, которые находятся в автоколебательном режиме.

Для системы автоматического регулирования напряжения цепей управления были проведены исследования применимости асинхронного способа управления, где проверялась возможность использовать одну из трех классических релейных характеристик: идеальную релейную, релейную с гистерезисной петлей постоянной ширины и гистерезисной петлей переменной ширины.

Исследования показали, что при идеальной релейной характеристике получить автоколебания для существующей системы автоматического регулирования напряжения не возможно. Для характеристик с постоянным и переменным гистерезисом наличие автоколебаний возможно не при всех значениях коэффициента нагрузки и постоянной времени цепи нагрузки. Установлено, что введение последовательной коррекции в виде апериодического звена первого порядка в структуру позволяет вывести систему в режим автоколебаний с приемлемыми частотами для нормальной коммутации силовых ключей и амплитудой менее одного вольта вокруг установленного значения напряжения цепей управления. Современные микроконтроллеры позволяют реализовать требуемое динамическое звено в программном режиме.



## Удосконалення діагностування вугільних вставок струмоприймачів

Большаков Ю.Л. (ТОВ «Глорія», м. Запоріжжя, Україна),  
Сиченко В.Г., Мандич В.Г. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Історія розвитку електричної тяги показує, що на полозах струмоприймачів застосовуються струмоз'ємні елементи з різних матеріалів: металеві (мідні, алюмінієві, сплави на їх основі і сталеві), металокерамічні та вугільні. Кожен з цих струмоз'ємних елементів має свої переваги та недоліки, які і визначають місце їх застосування.

З точки зору техніко-економічних вимог, які пред'являються до системи струмознімання, витікає, що струмоз'ємна вставка повинна задовольняти багатьом взаємовиключним умовам роботи. З одного боку, це мінімальне зношування контактного проводу, при забезпеченні надійного струмознімання, а з іншого – максимально можливий міжремонтний пробіг полоза струмоприймача. Суттєвий вплив на якість струмознімання здійснює природа струмоз'ємного матеріалу, від чого залежать механічні та електричні властивості вставки.

Досвід експлуатації струмоз'ємних елементів показав, що від матеріалу, з якого вони виготовлені, вимагається поєднання високих термічної і електроерозійної стійкості, антифрикційних та механічних властивостей з низькими значеннями питомого електричного опору  $\rho$ , контактного опору  $R_k$  та щільністю матеріалу  $\rho$ , що необхідно для забезпечення надійного струмознімання при швидкісному та високошвидкісному русі. Однією з головних економічних та електричних характеристик струмоз'ємних елементів є ступінь електричного та механічного зносу контактних проводів, викликаний процесами, що відбуваються в області контакту «вставка-контактний провід» та станом самого струмоз'ємного елемента.

Превалуючим на сьогоднішній день і найбільш перспективним є застосування вугільних (металовугільних) вставок. В той же час в процесі експлуатації існує проблема контролю їх відповідності встановленим вимогам.

На сьогоднішній день розроблені декілька методів контролю вугільних вставок:

- ультразвуковий імпульсний метод контролю (з окремим вводом в матеріал та подальшим прийомом ультразвукових коливань, які пройшли через нього), що дає можливість виявити дефектні місця;

- вимір електричного опору. Проводиться за допомогою подвійного мосту (Томсона) по відомій методиці. Це обумовлено необхідністю отримання залежності впливу неоднорідного розподілу структурних складових в об'ємі вставок на опір. В дефектних місцях вставки спостерігається збільшення об'ємного електричного опору;

- вимір щільності матеріалу вставки, що дає можливість передбачити експлуатаційний строк служби струмоз'ємного матеріалу.

Враховуючи те, що матеріал, з якого виготовлена вставка, має неоднакові властивості, як до експлуатації, так і після (викликаних термічною дією тягового струму та пластичною деформацією матеріалу), то для підвищення якості струмознімання постає питання в виборі економічно-доцільного методу неруйнуючого контролю, як нових, так і експлуатованих струмоз'ємних елементів.



## Новий рівень автоматизації сортувальних станцій

Бочаров А.П., Акуленко А.А., Михальов Г.О. (Укрзалізниця)

У складі Генеральної схеми розвитку залізниць України до 2020 року проведено «Дослідження існуючого стану та розвитку сортувальних станцій для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року».

Визначено обсяги та структуру роботи сортувальних станцій, проаналізовано відповідність колійного розвитку та технічного обладнання прогнозних обсягів перевезень, інтенсивність їх використання.

Встановлено достатність кількості сортувальних колій та наявність резервів на переважній більшості станцій, що обумовлює доцільність збереження існуючої схеми розміщення сортувальних станцій з концентрацією роботи на 16 найважливіших станціях та 11 районних.

Водночас 8 станцій обслуговують практично тільки місцеву роботу та не відповідають вимогам до сортувальних станцій.

Кардинальні заходи з реконструкції та розвитку сортувальних станцій не викликані необхідністю в той же час, має поступово проводитися модернізація технічного обладнання у відповідності до перспективних вимог.

Найважливішим фактором оптимізації перевезень є вдосконалення системи організації вагонопотоків, розробка та реалізація плану формування.

Існуюча система розрахунку планів формування на весь рік за даними розрахункового місяця - вересня не може бути визнана оптимальною, бо мають місце значні коливання вагонопотоків по періодах року.

Аналізом звітних даних встановлено, що відхилення від розрахункових потоків для окремих призначень плану формування досягають 70 – 120%.

Розміри і конфігурація вагонопотоків мають значний діапазон коливань як по окремих періодах руху, так і в більш коротких інтервалах часу (до добових включно). Зміни в структурі економіки, підвищення долі приватних вантажовідправників ведуть до розширення діапазону коливань, більшої динамічності попиту на перевезення. В цих умовах система, яка розроблена на рік, на базі розрахункових потоків вересня, не забезпечує оптимальність рішень при відхиленнях потоків від розрахункових значень.

У перспективі доцільно встановити оперативне керування поїздоутворенням, з розробкою і передачею рішень не в вигляді книжок плану формування або телеграм, а безпосередньо в АСКССХ.

Існуюча методика плану формування науково обґрунтована і детально розроблена, але потребує подальшого удосконалення з метою полегшення її використання в оперативній роботі.

В перспективі доцільно перейти на постійну розробку плану формування на ЕОМ, в залежності від реальних вагонопотоків, з безпосереднім управлінням процесом поїздотворення АСОУП та АСКСС.

Вирішальна роль у реалізації зазначеного належить удосконаленню та розвитку системи автоматизації та інформатизації.

З метою скорочення переробки вагонів на сортувальних станціях в 70-х роках минулого сторіччя була розроблена та почалась впроваджуватися Автоматизована система керування сортувальною станцією (АСК СС). Автором цієї розробки було Проектно-конструкторське технологічне бюро з автоматизації систем управління на залізничному транспорті СРСР (ПКТБ АСУЗТ або російською – “ПКТБ АСУЖТ”). В рамках цієї системи завдяки автоматизованому оформленню телеграм-натурних листів (ТГНЛ) та бази даних призначень плану формування була вперше здійснена видача розрахованого електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) розміченої за призначеннями плану формування ТГНЛ та сортувального листка. Серед функцій, які також були автоматизовані за допомогою АСК СС, слід особливо відзначити і ведення моделі накопичення вагонів на коліях



сортувального парку, формування поїзду по накопиченню вагонів, а також видачу на сформований поїзд натурного листа та довідки до маршруту машиніста.

За часів СРСР тільки найважливіші сортувальні станції були оснащені АСК СС. Серед перших станцій залізниць Української РСР були оснащені АСК СС станції Дарниця та Куп'янськ-Сортувальний.

Поряд з багатьма перевагами АСК СС, які забезпечили прорив в автоматизації та інформатизації залізничного транспорту, був і ряд недоліків, які були суттєво усунуті після впровадження Автоматизованої системи оперативного управління перевезеннями (АСОУП). Оскільки АСК СС була системою станційного рівня, АСОУП, як система рівня залізниці, забезпечувала автоматизацію інформаційного обміну між АСК СС станцій.

Так склалося, що після впровадження АСОУП, саме ця система зазнавала більшого розвитку, як функціонального так і технічного, у порівнянні з АСК СС. Можливо, це було обумовлено і тим, що АСК СС з самого початку задовольняла основним вимогам по автоматизації функцій сортувальної станції, а можливо і з інших причин. І як наслідок, вже в 90-х роках двадцятого сторіччя програмно-технічний комплекс АСК СС був морально застарілим, енергоємним та потребував відокремленого супроводу. Слід також зазначити, що з розпадом СРСР значно ускладнилося технологічне та технічне обслуговування АСК СС, виробники комплектуючих частин ЕОМ та програмного забезпечення розташовувалися вже не у братських республіках, а в інших державах. Саме цей чинник, а також проблема двотисячного року, були причиною розробки в Україні власного програмно-технічного комплексу АСК СС.

Основними розробниками української версії АСК СС, яка також називалася – Комплексна система електронного обміну даними – сортувальна станція (КСЕОД-СС), були фахівці Інформаційно-обчислювального центру (ІОЦ) Південної залізниці. До розробки також були залучені і фахівці ІОЦ Львівської та Південно-Західної залізниць.

Перша версія КСЕОД-СС за функціональним складом не відрізнялась від АСК СС розробленої ПКТБ АСУЗТ за часів Радянського союзу, але завдяки використанню персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ) та ергономічного інтерфейсу автоматизованих робочих місць (АРМ), вона значно покращила умови праці робітників станцій та підвищила якість їх роботи. Нова система дозволила значно прискорити швидкість обробки інформації і скоротити час обробки поїздів та вагонів, значно менше споживала електроенергії та була зручнішою у супроводі. Архітектура побудови КСЕОД-СС дозволяла розмішувати сервери в ІОЦ залізниць або в їх регіональних відділах, що в свою чергу дозволяло вивільнити штат супроводжувального персоналу на станціях.

За час експлуатації КСЕОД-СС зазнала чималого вдосконалення та розвитку функціонального складу, зокрема, наступного відображення вантажних операцій з вагонами в моделі станції, ведення спрощеної моделі під'їзних колій та розрахунок станційних форм обліку та звітності по господарству перевезень.

Завдяки своїм можливостям система КСЕОД-СС була рекомендована для впровадження на залізницях України і в теперішній час працює на всіх вирішальних станціях. Але минають і ці часи.

Завдяки розробці та впровадженню Автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ) було створено фундамент для розробки нової версії АСК СС, яка отримала назву “Автоматизована підсистема в складі АСК ВП УЗ “Динамічна робота станційного вузла”. Розробником нової версії АСК СС є ДП ПКТБ АСУЗТ України.

В новій версії АСК СС вдалося уникнути основних недоліків попередніх версій, серед яких:

- послідовна обробка інформаційних потоків з АРМ станцій, спочатку сервером АСК СС, а потім – сервером АСК ВП УЗ (як наслідок – більший час обробки інформації, необхідність очікування відповіді з двох систем);



- відсутність картотечних даних по вагонам, а також даних про технічний стан вагона;
- відсутність даних з електронних копій перевізних документів.

З такими функціональними можливостями по веденню парків і колій, які були досягнуті при інтеграції АСК СС в АСК ВП УЗ, автоматизована підсистема “Динамічна робота станційного вузла” може впроваджуватися не лише на сортувальних, а і на інших станціях, в разі потреби. Інформаційні моделі, які ведуться засобами цієї системи, можуть бути використані у інших складових підсистемах та задачах АСК ВП УЗ. Прикладом можуть служити АРМ чергового по станції (АРМ ДСП), в якому використовується модель парків і колій станції, а також АРМ агента передачі вагонів (АРМ АПВ), який використовує накопичення вагонів у сортувальному парку для підготовки передавальної відомості.

Розробка автоматизованої підсистеми “Динамічна робота станційного вузла” виконувалася з дотриманням вимог побудови автоматизованих інформаційних систем залізничного транспорту та з використанням передового досвіду у цій галузі. При розробці системи використовувалися сучасні інструменти для побудови баз даних та програмного забезпечення, також були враховані вимоги до надійності програмного комплексу АСК СС.

Перевірка працездатності нової версії АСК СС триває на ІОЦ залізниць з лютого поточного року. Впровадити цю систему задача не з легких, але зробити це цілком можливо. Протягом березня-квітня 2009 року АСК СС впроваджується на станції Харків-Сортувальний Південної залізниці та на станції Павлоград-І Придніпровської залізниці. Протягом зазначеного терміну АСК СС була в експлуатації у тестовому режимі, що дозволило розробникам усунути зауваження.

Результати тестування довели, що розроблена система працездатна та може впроваджуватися в постійну експлуатацію. Першою станцією, де виконується впровадження АСК СС, стала станція Харків-Сортувальний. Працівники ІОЦ Південної залізниці із залученням розробників перенесли відповідні моделі станції з КСЕОД-СС в АСК ВП УЗ. Завдяки впровадженню АСК СС на станції Харків-Сортувальний в технології інформаційного обміну станції зник ланцюжок, який збільшував час в обробці інформації.

Впровадження автоматизованої підсистеми “Динамічна робота станційного вузла” на станції Харків-Сортувальний дозволило станції всі свої інформаційні моделі, пов’язані з обробкою поїздів та вагонів, зосередити в рамках однієї системи (АСК ВП УЗ) та використовувати всі її можливості. Також слід зазначити, що система не потребує нового АРМ станції (використовується існуюче), і для працівників технологія вводу та обробки інформації не змінилася.

Відмова від КСЕОД-СС та переведення сортувальних станцій на роботу з автоматизованою підсистемою “Динамічна робота станційного вузла” в АСК ВП УЗ, дозволить відчувати користувачам всі її переваги. Для ІОЦ залізниць також суттєво зміниться технологія експлуатації. По-перше зменшиться кількість серверів, які обслуговуються, а по-друге – зменшиться енергоспоживання. Крім того функціонування автоматизованої підсистеми „Динамічна робота станційного вузла” забезпечить вирішення наступних задач:

- своєчасне та якісне відображення в АСК ВП УЗ інформації про технологічні операції на станції;
- логічний контроль та запис до бази АСК ВП УЗ повідомлень про технологічні операції на станції;
- контроль групи супроводу АСК ВП УЗ за якістю передачі інформації;
- максимальну гнучкість системи у частині поновлення інформації при втратах;
- використання даних для формування довідок для користувачів усіх рівнів з удосконаленими даними про технологічні операції.

Наприкінці важливо відзначити що автоматизована підсистема “Динамічна робота станційного вузла” – це новий крок в автоматизації технологічних процесів роботи сортувальних станцій та продовження впровадження прогресивних інформаційних технологій на залізничному транспорті.



## О нормировании расхода электроэнергии на тягу поездов

Гетьман Г.К. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина)

Несмотря на важную роль назначения норм расхода электроэнергии на тягу, до сих пор не отработана методика, которая бы обеспечивала соответствие норм требованиям эксплуатационной работы. Это объясняется многообразием и переменчивостью факторов, влияющих на расход электроэнергии на тягу поездов.

Способ расчета норм расхода электроэнергии для локомотивных бригад, предлагаемый действующей на железных дорогах Украины инструкцией ЦТ-0059 от 05.03.2003 г. (Інструкція по технічному нормуванню витрат електроенергії і палива локомотивами на тягу поїздів), которая, попутно отметим, практически дублирует инструкцию ЦТ-2064 от 20.05.67 г. для железных дорог СССР, основан на применении так называемых энергетических (или тягово-энергетических) паспортов электровозов. Последние рассчитаны по тяговым и токовым характеристикам электроподвижного состава и представляет собой зависимость от скорости движения базисной нормы электропотребления  $a_0$ , которая соответствует движению поезда заданной массы на площадке ( $i=0$ ) с установившейся скоростью при нагрузке от оси на рельсы 17,5 тс.

Базисная норма электропотребления учитывает только работу по преодолению сил основного сопротивления движению (при средней скорости на участке и фиксированной статической нагрузке на ось вагона) и потери энергии в силовых цепях электровоза. Учет влияния отклонений условий работы электровоза от соответствующих базисной норме осуществляется введением соответствующих корректировочных коэффициентов. Они определяются аналитическим путем или по результатам анализа статических данных.

К достоинствам рекомендуемого инструкцией способа следует отнести:

- возможность анализа влияния основных определяющих электропотребление факторов, результаты которого позволяют корректировать нормы при изменении условий эксплуатации;
- способ основан на едином для всех типов электроподвижного состава подходе и применим в условиях любого локомотивного депо.

К недостаткам рассматриваемого способа следует отнести:

- сложность использования методики локомотивными бригадами с целью самостоятельного определения нормы электропотребления и оценки рациональности управления поездом в конкретной поездке;
- существенные погрешности расчета норм расхода электроэнергии, которые являются следствием допущений, принятых при определении базисной нормы и коэффициентов влияния.

Инструкцией ЦТ-0059 предусмотрен порядок нормирования расхода электроэнергии по видам работы, типам локомотивов и по депо в целом, то есть порядок определения усредненных норм расхода электроэнергии. Вместе с тем рассматриваемая инструкция не регламентирует порядок определения значений коэффициентов влияния, что делает рассматриваемый способ малоприменимым для решения задач нормирования.

Несмотря на то, что инструкция ЦТ-2564 была разработана МПС и институтом Комплексных транспортных проблем СССР на основе анализа огромного статистического материала, в большинстве случаев она дает существенно завышенные результаты (до 30-35 %). По этой причине рассмотренный способ нормирования энергозатрат на тягу поездов требует существенной доработки.



## **Визначення похибки виміру ходового опору відчепу за допомогою імітаційної моделі**

Жуковицький І. В., Іващенко Є. В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Точність визначення основного опору  $W$  рухові відчепів істотно впливає на показники якості автоматизованого процесу розформування составів на гірках (РСТ), зокрема, на довжини „вікон” і швидкості співударяння відчепів.

Для виміру прискорення відчепу використовуються спеціальні вимірювальні ділянки. Найбільше розповсюдження одержав «трюхточечний метод» виміру ходового опору відчепів. При використанні цього методу на прямолінійній ділянці з постійним ухилом установлюють три колійні датчики на однаковій відстані один від одного.

При заданих вихідних значеннях можна вимірювати прискорення відчепів, а далі визначити похибку обчислення ходового опору, що дасть неточні дані регуляторів гальмової позиції, і вплине на припустиму швидкість виходу відчепів з гальмової позиції.

Похибка виміру ходового опору відчепів  $\sigma(W)$  залежить від погрішності спрацьовуванні датчиків  $\sigma_\epsilon$ , ходового опору  $W$ , швидкості входу  $V_0$ , довжини вимірювальної ділянки  $L$  й ухилу  $i$ .

Авторами запропонована імітаційна модель визначення залежності зміни ходового опору відчеплення від розіграних похибок датчиків і різних аргументах функції в припущенні, що помилка визначення координати спрацьовування датчиком розподілена по нормальному закону.

Аналізуючи отримані результати можна затверджувати, що похибка ходового опору в цілому залежить від величини  $\delta L$ -погрішності спрацьовування датчиків, а також зворотно пропорційно залежить від довжини вимірювальної ділянки і прямо пропорційно залежить від швидкості входу відчепів у вимірювальну ділянку і від величини ухилу ділянки.

Якщо звернути увагу на значення похибки ходового опору, можна зробити висновок, що значною мірою її значення залежить від швидкості входу відчеплення у вимірювальну ділянку і довжини вимірювальної ділянки.

## **Особенности учета электрической энергии, возвращаемой электровозами переменного тока в тяговую сеть при их рекуперативном торможении**

Ивашкеева Е. В. (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

Явление рекуперации на электрифицированных железных дорогах характеризует очень важный, но вызывающий множество проблем, режим движения электровоза – режим рекуперативного торможения. Надо отметить, что взаимодействие работы электровозов в режиме рекуперации с системой тягового электроснабжения железной дороги является достаточно сложной проблемой, которую в нужной мере пока никто не решил.

Более остро вопрос контроля электроэнергии касается пассажирских электровозов. В отличие от грузовых пассажирские локомотивы оборудованы устройствами для электроотопления составов. На них, кроме двух счетчиков электроэнергии тяги и рекуперации, установлен третий счетчик – отопления состава.

Установка счетчиков позволяет вести учет и контроль электроэнергии на электровозах, но в снятии показаний существуют некоторые погрешности. В тяговом режиме счетчик тяги показывает не только расход энергии на тягу, но и расход энергии на отопление.



В режиме рекуперативного торможения электровоза с поездом большой массы и длины образуется большая мощность рекуперации. В этом случае часть энергии рекуперации расходуется на отопление поезда, а остаток возвращается в контактную сеть. Счетчик рекуперации, на который поступает сигнал трансформатора тока, включенного в первичную обмотку трансформатора электровоза, показывает не всю энергию рекуперации, а только ту часть, которая возвращается в контактную сеть. В режиме, когда мощность рекуперации меньше мощности электроотопления поезда, энергия рекуперации полностью идет на отопление поезда, а недостающая часть энергии для отопления поступает из контактной сети. В этом режиме счетчик тяги показывает энергию, поступающую дополнительно к энергии рекуперации для отопления поезда.

Значит, счетчик тяги учитывает не только всю энергию на тягу, но и энергию на отопление поезда в тяговом режиме и дополнительную энергию на отопление в режиме рекуперативного торможения, когда мощность рекуперации мала.

Счетчик рекуперации также не выполняет в точности своих функций, поскольку он не учитывает часть энергии рекуперации, поступающую на отопление. Счетчик отопления учитывает суммарно всю израсходованную энергию на отопление, как во время тягового режима, так и во время рекуперации. Исходя из этого, по показаниям счетчиков за поездку можно определить количество сэкономленной энергии, как разность энергии, затраченной электровозом на тягу, и энергии, возвращенной при рекуперации. Для этого нужно из показаний счетчика тяги вычесть показания счетчика рекуперации и счетчика отопления. Однако в этом случае оценка энергетики ведения пассажирского поезда электровозом переменного тока можно дать лишь приблизительно.

В связи с этим возникает необходимость введения дополнительного счетчика на обмотке отопления, учитывающего расход электроэнергии на отопление непосредственно только в режиме рекуперации.

Это изменение в схеме электровоза обеспечит более точный учет потребляемой электровозом и возвращаемой обратно в сеть электроэнергии.

### **Аналіз характеристик апаратів захисту електрообладнання електровоза ДЕ1 від КЗ і перевантажень**

Кійко А.І., Власенко Б.Т., Афанасов А.М. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Збільшення потужності тягових двигунів електровозів постійного струму ставить більш жорсткі вимоги до захисних характеристик апаратів захисту від аварійних режимів. Швидкість зростання струмів КЗ може досягти величин, при яких за час спрацювання апарату захисту абсолютна величина аварійного струму досягне небезпечних значень для основного навантаження (тягових двигунів, або допоміжних електричних машин). Іншим обмежуючим фактором може бути максимальне значення струму КЗ в електричних колах електровоза, що перевищує граничний струм відключення апарата захисту.

На підставі розрахунків струмів КЗ в електричних колах тягових двигунів і допоміжних електричних машин електровоза ДЕ1 в залежності від величини напруги в контактній мережі і відстані електровоза від тягової підстанції, та узгодження з захисними характеристиками швидкодіючого вимикача UR26 і плавких запобіжників типу ПКЖ в колі допоміжних електричних машин дозволяють зробити висновок, що гранична розривна спроможність UR26 і запобіжників ПКЖ достатня для розриву максимально можливих струмів КЗ в самих тяжких умовах:  $U_{km}=[U_{max}]=4000\text{ В}$  і електровоз знаходиться біля тягової підстанції.



Для эффективного захисту допоміжних електричних машин плавкими запобіжниками необхідно щоб повний джоуль інтеграл запобіжника був менше джоулевого інтеграла двигуна, який захищається.

З урахуванням переддугового часу запобіжника і часу його плавлення визначено максимальні значення струмів КЗ в колах електродвигунів допоміжних машин.

Захист допоміжних машин електровоза ДЕ1 за допомогою плавких запобіжників типу ПКЖ можна визначити достатньо ефективним.

### **Улучшение сцепных свойств электровозов постоянного тока ДЭ1**

Крячко А. Г. (ДМК)

Улучшение тяговых свойств локомотивов было и есть краеугольным камнем совершенствования перевозочного процесса с момента появления железных дорог.

Распространённая в эксплуатационной практике характеристика сцепления Н. Н. Меншутина, имеющая один максимум значения силы тяги при скорости относительного скольжения колёс в пределах 0,5-1,5%, не отражает реальных процессов в системе “колесо-рельс” и к настоящему времени стала препятствием совершенствования тяговых свойств локомотивов.

Так, логичное согласно данной кривой сцепления повышение жёсткости характеристик тягового привода не привело к ощутимому росту эксплуатационного коэффициента сцепления.

Добиться поставленной задачи позволяет характеристика сцепления, основанная на активировании поверхностей катания колеса и рельса за счёт ограниченного проскальзывания, и имеющая фрикционный гистерезис (кривая сцепления Г. В. Самме).

При этом применительно к магистральному электровозу постоянного тока актуальным является выбор силовой схемы и схемы цепей управления, обеспечивающих реализацию повышенного коэффициента сцепления во всём диапазоне скоростей и сил тяги на главных ходах железных дорог.

### **Обеспечение надежности подвижного состава при высоких скоростях**

Ларюшкин В. Л. (Укрзалізниця, г. Киев, Украина)

Распоряжением Кабинета Министров Украины от 27 августа 2008 №1155-р утверждена инициатива Министерства транспорта и связи Украины относительно долгосрочного планирования работы по обновлению подвижного состава для нужд железнодорожного транспорта Украины, а уже в октябре 2008 года Министерство транспорта и связи Украины по согласованию с Министерством промышленной политики утвердило Комплексную программу обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008-2020 годы.

Создавая соответствующие условия для повышения скоростей движения на железных дорогах Украины необходимо реализовать множество организационных и технических мероприятия с привлечением всех хозяйств Укрзалізниця. Наладить четкое взаимодействие производителя подвижного состава и других технических средств для нужд железнодорожного транспорта (Минпромполитики) и эксплуатанта скоростного подвижного состава (Минтрансвязи, Укрзалізниця) по вопросам определения подходов к построению технических требований на подвижной состав, элементы инфраструктуры и средства диагностики.

При этом необходимо учитывать положения директив ЕС и европейских норм (EN), создать соответствующую нормативную базу, в том числе разработать новые и пересмотреть существующие государственные и отраслевые стандарты, которые определяют по-



становку продукції на виробництво і проведення випробувань, з метою визначення відповідності реальних технічних характеристик вимогам технічного завдання і нормативної документації.

В 2009 році Укрзалізниця ввела в дію «Загальні технічні вимоги до програм випробувань швидкісного рухомого складу на випробувальних ділянках магістральних колій залізничних доріг України». Ці технічні вимоги визначають умови побудови, зміст, оформлення, порядок погодження і затвердження програм випробувань швидкісного рухомого складу, а також визначають порядок розробки, погодження, затвердження і атестації випробувальних методик, організації метрологічного забезпечення, для зведення до мінімуму ймовірності виникнення помилок при обробці результатів випробувань.

Проведення прийомних випробувань повинно забезпечити перевірку швидкісного рухомого складу і окремих його елементів на відповідність вимогам технічного завдання і нормативної документації.

Випробувальний зразок швидкісного рухомого складу повинен пройти комплекс натурних випробувань з обов'язковим випробуванням і оцінкою функціонування систем токоприймачів, визначенню їх динамічних якостей і впливу на контактну мережу при швидкостях руху на прямій ділянці і в кривих.

На швидкісних електрифікованих лініях особливо високі вимоги пред'являються до взаємодії токоприймача з контактним підвіском. Щоб забезпечити найкращий токозбір і по можливості знизити кількість відмов ведуться розробки різних систем і пристроїв для:

- визначення залишкового перерізу контактної дроти;
- виявлення точок підвищеного нагріву елементів контактної мережі;
- виявлення різнопланових негабаритних елементів в габариті руху токоприймача з метою забезпечення аварійного автоматичного опускання токоприймача для проходження небезпечного місця;
- виявлення жорстких точок в зоні взаємодії контактний дрот-токоприймач;
- вимірювання кута між основним фіксатором і додатковим
- вимірювання відхилення контактної дроти і його підйому токоприймачем під фіксатором для визначення правильності налаштування токоприймача.

### **Критерії порівняльного аналізу варіантів побудови статичних перетворювачів тягового приводу багатосистемних електропоїздів**

Муха А. М. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Статичний перетворювач є однією з найскладніших частин тягового електроприводу, оскільки крім перетворення потоку енергії він ще виконує функції регулювання її параметрів.

Визначення раціональної структури статичного перетворювача тягового приводу електропоїздів, які спроможні працювати при підвищеній напрузі у контактній мережі постійного струму, є важливою науково-технічною проблемою.

Результати досліджень дозволяють, визначити, з точки зору тягового перетворювача, до якого саме рівня напруги доцільно підвищувати напруги у контактній мережі постійного струму з метою збільшення її пропускної здатності.

Опираючись на матеріали загальновідомих робіт присвячених статичним перетворювачам сформулюємо наступні критерії для порівняльного аналізу варіантів побудови статичних перетворювачів тягового приводу багатосистемних електропоїздів.



1. Кратність перетворення потоку електроенергії, це відношення сумарної потужності всіх ланок перетворювача до потужності тягового двигуна.

2. Коефіцієнт потужності перетворювача (у режимі роботи від контактної мережі змінного струму).

3. Коефіцієнт корисної дії перетворювача.

4. Коефіцієнт спотворення форми кривої струму (у режимі роботи від контактної мережі змінного струму).

Також до представленої групи показників, які дозволяють провести порівняльний аналіз перетворювальних структур можливо віднести також: плавність регулювання параметрів, показники якості перехідних процесів.

### **Аналіз стану експлуатаційної готовності електровозів ДЕ1 та можливі шляхи їх модернізації**

Рогачов С.І., Панченко Р.О., Гордієнко Д.О. (ХФ ДНДЦ УЗ, м. Харків),  
Нікулін В.С. (УкрДАЗТ, м. Харків, Україна)

Перший вітчизняний вантажний двосекційний восьмивісний електровоз постійного струму типу ДЕ1 (виробник – НВК „Електровозобудування”) було виготовлено у 1995 році для оновлення парку вантажних електровозів українських залізниць та заміни електровозів ВЛ8, ВЛ10, які практично вичерпали свій ресурс. Всього в період з 1995 по 2008 рік було виготовлено 40 електровозів, 38 з яких на даний час знаходяться в експлуатації. Більша частина електровозів експлуатується на Донецькій залізниці в депо ТЧ-1 (Красний Лиман). Серед позитивів нових електровозів слід відзначити встановлення бортового електронного перетворювача напруги для живлення допоміжних кіл та забезпечення роботи електродинамічного гальма (на електровозах з № 017), впровадження мікропроцесорної системи управління тяговим електроприводом та системи діагностики.

Однак тривалий досвід експлуатації цих електровозів виявив ряд недоліків, серед яких недостатня надійність ходової частини, схильність до буксування, ненадійна робота тягових двигунів, електронної частини, струмоприймачів, складність і громіздкість силової контакторно-реостатної схеми, бортового електронного перетворювача напруги, що приводить до зриву електродинамічного гальмування, низька ремонтпридатність електровозів тощо. Це можна пояснити недостатньою якістю виготовлення окремих вузлів та їх невідповідністю умовам експлуатації на залізничному транспорті. Внаслідок цього електровози ДЕ1, як свідчить статистика, значно поступаються по експлуатаційній надійності електровозам ВЛ8 та ВЛ10. Також до негативів слід віднести використання контакторно-реостатної схеми управління тяговими двигунами та живлення допоміжних електричних машин безпосередньо від контактної мережі.

Проведені окремі дії по заміні чи модернізації деяких вузлів та пристроїв суттєвих позитивних змін до стану експлуатаційної готовності електровозів ДЕ1 не внесли. Це свідчить про нераціональність подальшого виготовлення електровозів ДЕ1 без серйозних доопрацювань. Для доведення електровозів ДЕ1 до рівня, що відповідає існуючим вимогам до сучасних вантажних електровозів, необхідне проведення їх суттєвої модернізації.

В результаті проведеної роботи по пошуку раціональних шляхів та заходів конкретно-го підвищення експлуатаційної ефективності вантажних електровозів постійного струму типу ДЕ1, можна виділити наступні основні можливості модернізації цих електровозів з метою підвищення їх експлуатаційної готовності, а саме:

– модернізація допоміжної електричної схеми управління з використанням електроніки на базі силової напівпровідникової електроніки і асинхронних електричних машин;



- модернізація силової електричної схеми управління тяговими двигунами з використанням імпульсних засобів регулювання напруги на двигунах;
- проведення ряду заходів по підвищенню тягово-зчіпних властивостей електровоза ДЕ1, які направлені на зменшення перерозподілу навантажень між колісними парами при реалізації потрібної сили тяги (модернізація ресорного підвішування, довантажуючих пристроїв), попередження та припинення боксування (встановлення сучасних протибоксовочних систем), надання більшої жорсткості характеристикам тягових двигунів в перехідних режимах роботи.

### **Аналіз експлуатаційної ефективності електровозів ДСЗ та раціональні шляхи їх модернізації**

Рогачов С.І., Панченко Р.О., Гордієнко Д.О. (ХФ ДНДЦ УЗ, м. Харків),  
Нікулін В.С. (УкрДАЗТ, м. Харків)

Характерною ознакою сьогоденного етапу розвитку світового електровозобудування є перехід на новий рівень організації виробництва на основі кооперації з високим рівнем уніфікації, стандартизації конструкцій і схемотехнічних рішень вузлів, блоків локомотивів різних категорій та призначення, в результаті чого досягається як висока рентабельність виробництва, так і висока експлуатаційна ефективність електровозів.

Вантажно-пасажирський чотирьохосний електровоз змінного струму ДСЗ є першим локомотивом із серії вітчизняних електровозів нового покоління з асинхронними тяговими двигунами (АТД). По своїй суті електровоз ДСЗ повинен був стати базовою тяговою платформою для чотирьохосних та восьмиосних пасажирських і вантажних магістральних електровозів постійного і змінного струму. Однак прийняті на електровозі система тягового електроприводу, система бортового електропостачання та робочого електричного гальма не передбачають можливості уніфікації, тобто прямого використання вузлів цих систем в розробках електровозів постійного та подвійного струму живлення з АТД як для пасажирського, так і для вантажного руху.

Крім цього, досвід експлуатації та ремонту електровозів ДСЗ показав недостатність рівня експлуатаційної готовності даних електровозів, що в першу чергу стосується недостатньої потужності електровоза при роботі з пасажирськими повносоставними поїздами та прискореними денними експресами, низької надійності і ремонтпридатності ходової частини, негативного впливу тягового приводу II-го класу з полим валом ротора АТД на динаміку електровоза, підвищена схильність до боксування, неможливості підтримання заданої швидкості, а також, повної зупинки пасажирського поїзда на похилих ділянках за рахунок електричного гальма при відсутності напруги в контактній мережі, неможливості живлення допоміжного електрообладнання та системи управління від бортового статичного перетворювача і режиму електричного гальмування для зупинки поїзда при відсутності напруги в контактній мережі або пошкодженні струмоприймача. У сукупності це все суттєво знижує безпеку поїзної роботи і ефективність експлуатації цих електровозів.

Отже, говорити про можливість використання електровоза ДСЗ в якості базової тягової платформи для нового покоління магістральних електровозів з АТД змінного, постійного і подвійного струму живлення різних категорій, на жаль, не можемо без проведення глибокої його модернізації.

Стратегічно, питання глибокої модернізації вже випущених електровозів ДСЗ могло бути альтернативою створення першої уніфікованої тягової одиниці, однак у зв'язку з уже прийнятим рішенням Укрзалізниці по замовленню базової платформи нового покоління магістральних електровозів з АТД у вигляді двосистемного чотирьохосного пасажирсько-



го электровоза мощностью  $\geq 6$  МВт, глубока модернізація електровоза ДСЗ, не є доцільною.

В тактичному ж плані, модернізація існуючих електровозів ДСЗ потрібна вже сьогодні, і її метою повинна стати можливість повноцінної заміни шестиосних пасажирських електровозів змінного струму ЧС4<sup>Т</sup> для більш ефективного водіння сучасних повно-составних та прискорених поїздів. Підвищений рівень використання зчіпної ваги електро-возів з АТД, а також можливість вписування в габарити візків з діаметрами коліс 1250 мм асинхронного двигуна потужністю значно більшою за потужність колекторних двигунів постійного струму і є тими позитивними чинниками, що дозволяють говорити про можливість повноцінної заміни чотирьохосними електровозами з АТД шестиосних електровозів з колекторними двигунами при збереженні допустимого повісового навантаження.

### **Оценка работоспособности скоростных токоприемников в условиях низких температур**

Сидоров О.А., Томилов В.В., Лямышев Д.Г. (ОмГУПС, Россия)

Создание новых устройств токосъема, а также модернизация существующих образцов требует проведения оценки работоспособности токоприемников. Одним из направлений совершенствования токоприемников является применение резинокордных элементов (РКЭ) в качестве нажимного и подъемно-опускающего устройства. РКЭ обладает малыми размерами и улучшает статические и динамические характеристики токоприемника. Однако в условиях низких температур свойства РКЭ изменяются, что приводит к ухудшению взаимодействия токоприемника с контактной подвеской и является существенным недостатком.

В Омском государственном университете путей сообщения (ОмГУПС) разработана методика оценки работоспособности скоростных токоприемников в условиях низких температур на базе модернизированного универсального комплекса лаборатории «Контактные сети, линии электропередачи и устройства токосъема».

Комплекс позволяет исследовать статические и динамические характеристики элементов и узлов токоприемников, время опускания и подъема токоприемника, в том числе с РКЭ в лабораторных условиях, при экстремально низких температурах (до  $-70^{\circ}\text{C}$ ).

По результатам проведенных испытаний установлено, что низкие температуры приводят к нарушению нормальной работы токоприемника, значительному увеличению времени его опускания, падению уровня статического нажатия при одинаковом давлении в РКЭ. Выявлена необходимость в вынужденном повышенном давлении в пневматической питающей магистрали для поддержания статического нажатия. Кроме того, понижение температуры привело к ухудшению динамики взаимодействия токоприемника с контактной подвеской: повышенному искрению, подбоям и ударам при взаимодействии с токопроводом.

Причинами нарушения нормальной работы токоприемника явились увеличение жесткости, сухого и вязкого трения РКЭ. Изменение этих характеристик имеет нелинейный характер, численные значения показателей резко увеличиваются при уменьшении температуры ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ .

В силу указанных причин возникает необходимость создания условий для поддержания температуры резинокордного элемента и защиты его от окружающей среды.

Подогрев РКЭ токоприемника может быть осуществлен различными путями. Источниками тепла могут быть собственные тяговые агрегаты локомотива или автономные, специально спроектированные и не относящиеся к типовым узлам подвижного состава. Первый путь является одновременно решением задачи энергосбережения. Однако после



продолжительной стоянки (без потребления мощности) агрегаты локомотива имеют температуру окружающей среды, и обогрев в таком случае возможен лишь после продолжительного пробега подвижного состава. Автономный обогрев решает эти проблемы, но с дополнительным расходом электрической энергии. Комбинированный обогрев в этом случае является лучшим решением.

Использование источников тепла, расположенных в локомотиве, с применением воздуховода, выполненного из диэлектрического материала, решает задачу потенциальной развязки между токоприемником и корпусом локомотива.

Большинство элементов токоприемника являются токопроводящими и подвержены собственному нагреву. В связи с этим возможно третье решение. Отбор тепла от нагреваемых токоведущих частей в устройстве токоприемника. Разработкой устройств обогрева и их испытанием в настоящее время занимаются специалисты из ОмГУПС.

### **Рудничный контактный электровоз с тяговым электроприводом переменного тока**

Синчук О.Н., Синчук И.О. (Кременчугский государственный политехнический университет),  
Караманич Ф.И. (Криворожский железорудный комбинат),  
Зайцев И.Н. (Концерн «Росэнергомаш»),  
Пасько О.В. (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

Основным, а для рудных шахт единственным видом внутришахтного транспорта, являются электровозы.

С понижением уровня горных работ в шахтах с естественным при этом увеличением протяженности транспортирования полезных ископаемых от места добычи до скиповых подъемов, расход электрической энергии на эту часть технологического процесса добычи только за последние десять лет по шахтам (рудникам) Украины увеличился почти в 2 раза.

В шахтах Криворожского железорудного бассейна эксплуатируется около 300 единиц рудничных электровозов. В основном это электровозы типа К-14, 14 КР и К-10.

Оборудованы тяговым приводом на базе резисторного управления (регулирования) электрическими двигателями постоянного тока. Данный тип электрического привода не отвечает современным требованиям в силу присущих ему определяющих отрицательных черт. В силу этого, а также ряда других факторов, с 2001 г. по 2008 г. количество ежегодно ремонтируемых тяговых электрических двигателей (ТЭД) увеличилось почти в 2,5 раза и с 2005г. стабильно составляет 100 % от эксплуатируемых, в то время как заводской гарантийный срок эксплуатации – 2 года. Такой парадокс вызван, прежде всего, все более «ужесточающимися» условиями эксплуатации рудничных электровозов вообще и их тяговых электроприводов в частности (в т. ч. ТЭД).

К сожалению, как свидетельствует почти столетний опыт эксплуатации тяговых электрических двигателей в условиях шахт и рудников, изменить эту одиозно прогрессирующую тенденцию в сторону улучшения, основываясь на традиционном ТЭП постоянного тока, невозможно. В тоже время реально это достигнуть путем применения тягового электропривода переменного тока с асинхронными ТЭД и современными системами управления ими на базе IGBT-преобразователей.

На основании теоретических разработок авторов и изготовлен экспериментальный образец данного вида ТЭП электровозов сцепной массой 14кН. подразделениями концерна «Электромеханические заводы Украины» (г. Харьков) по заказу Криворожского железорудного комбината (г. Кривой Рог).

ТЭП состоит из комплекта силовых и вспомогательных устройств – называемых КТНЧ (контроллер транзисторный частотный) и двух тяговых асинхронных электрических



ких двигателей мощностью 50 кВт каждый. КТНЧ (в дальнейшем именуемый "контроллер") предназначен для управления тяговым электроприводом на базе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, и вспомогательным электрооборудованием.

Функционирование контроллера определено программой микропроцессорного регулятора (модуль контроллера).

Инверторы обеспечивают частотное управление тяговыми асинхронными электродвигателями, заключающееся в соблюдении заданного машинистом с пульта управления уровня постоянного соотношения между частотой и величиной действующего значения первой гармоники выходного напряжения контроллера. Закон  $U/f = \text{const}$  обеспечивает постоянство тока и, следовательно, момента тяговых электродвигателей. При трогании электровоза на частотах 0...5 Гц закон  $U/f$  корректируется путем завышения величины напряжения для компенсации падения напряжений в сопротивлениях двигателя.

Величина выходного напряжения инверторов изменяется посредством синусоидальной широтно-импульсной модуляции питающего входного напряжения контактной сети.

Важным положительным моментом данной разработки ТЭП является отстройка системы управления от кратковременного исчезновения напряжения питания вызванное отрывами пантографа электровоза от контактного провода. Данный вид ТЭП имеет необходимый уровень электромагнитной совместимости с питающей контактной сетью и параллельно проложенными линиями связи и автоматики.

Экспериментальный образец ТЭП переменного тока с IGBT-преобразователем в 2007 году прошел испытания в шахте «Родина» Криворожского железорудного комбината. Получен положительный результат.

### **Проблема диагностики полупроводниковых преобразователей электровозов переменного тока**

Трофимович П.Н. (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

На современных электровозах переменного тока электронные устройства применяются как в качестве силовых преобразователей электроэнергии (силовое электронное оборудование), так и для управления различным оборудованием, в том числе и силовым (электронное оборудование управления). Специфическими особенностями электронного оборудования как объекта диагностирования является его размещение на электровозе, выполнение технического обслуживания в процессе эксплуатации и ремонт этого оборудования на локомотиве, находящемся в цехе депо.

Тиристорные преобразователи используются на ЭПС в качестве силовых выпрямительных или инверторных агрегатов. По условию эксплуатации преобразователи работают в тяжелых условиях, которые в значительной мере определяют требования к их конструкции и обслуживанию: большие колебания температуры и питающих напряжений, вибрации, стесненные габариты размещения, загрязнение оборудования. Выполнение большого количества функций, высокая сложность силовых схем и схем управления, большое количество элементов (тириستоров), сильные искажения питающего напряжения значительно усложняют систему диагностики преобразователей.

С точки зрения диагностирования преобразовательные установки можно рассматривать состоящими из двух частей: энергетической (силовой) и информационной. К силовой относятся комплекты силовых вентилях, силовые дроссели, коммутирующие конденсаторы, выравнивающие RC-цепи. Информационная часть содержит систему управления и регулирования, устройства питания, контроля и сигнализации.



К особенностям диагностики вентильных преобразователей относится необходимость применения методов как тестового, так и функционального диагностирования. Очевидно, что при поиске отказавших элементов возможно только тестовое диагностирование. Проверка работоспособности представляет собой исключительно функциональное диагностирование. При проверке исправности возможно как тестовое, так и функциональное диагностирование.

Наиболее сложной диагностической задачей является проверка исправности. Кроме выбора элементов преобразователя, которые необходимо подвергать контролю и контролируемых параметров данных элементов необходимо определить методы измерения и оценки этих параметров. Здесь одним из важных преимуществ функционального диагностирования по сравнению с тестовым является возможность использования значительно меньшего числа контрольных точек в объекте. Еще одной особенностью системы функционального диагностирования является то, что она позволяет заменить в процессе работы отказавшие узлы резервными, переходить на другие режимы работы, для которых возникшая неисправность не существенна.

Основная доля отказов полупроводниковых преобразователей приходится на отказы силовых тиристоров. В этом случае наиболее целесообразно возлагать на систему диагностики выдачу информации при пробое тиристора, прогнозировать будущее состояние преобразователя как некоторую совокупность большого количества тиристоров. Осуществление контроля ухудшения параметров тиристоров приводит к столь значительному усложнению системы диагностики из-за большого количества тиристоров и сложности методов контроля, что реализация таких встроенных систем диагностики в условиях локомотива практически неосуществима. Указанный контроль более выгоден при периодических ремонтах преобразователя внешними диагностическими устройствами.

### **Способ повышения коэффициента мощности зависимого однофазного инвертора электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения**

Фокин Д.С., Власьевский С. В. (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия, [ele@festu.khv.ru](mailto:ele@festu.khv.ru))

В настоящее время во всем мире широко внедрен электроподвижной состав (ЭПС) со статическим преобразователями однофазного переменного тока в постоянный и обратно на базе применения тиристоров и коллекторных тяговых двигателей.

Выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП) электровозов переменного тока являются наиболее сложной и ответственной частью тягового электропривода. Они дали возможность разработать и внедрить на этих электровозах не только схемы плавного регулирования напряжения на тяговых двигателях, но и систему электрического рекуперативного торможения.

Известно, что в состав функциональной схемы преобразования электроэнергии на электровозах переменного тока с коллекторными двигателями входит трансформатор тяговой подстанции, тяговая сеть однофазного переменного тока, тяговый трансформатор, выпрямительно-инверторные преобразователи и тяговые двигатели со сглаживающими реакторами электровоза. Наиболее сложной частью этой схемы является выпрямительно-инверторный преобразователь. ВИП определяет такие важные показатели (коэффициент мощности и коэффициент полезного действия). Поэтому очень важно знать энергетические показатели которых можно провести сравнительный анализ процессов работы.

Наиболее важным из энергетических показателей является коэффициент мощности  $K_m$ , который определяет уровень расхода электроэнергии на тягу поездов в режиме тяги возврата электроэнергии в сеть в режиме рекуперативного торможения. Если в режиме



тяги величина  $K_m$ , являється удовлетворительной(0,7-0,8) для существующих электровозов, то в режиме рекуперативного торможения  $K_m$  имеет низкое значение(0,6-0,65)

Особое значение в теории преобразования однофазного переменного тока в постоянный и обратно приобретают процессы коммутации тока вентилей, которые являются переходными процессами, и напрямую влияют на величину коэффициента мощности. Процесс коммутации тока вентилей вызывает индуктивное падение напряжения в сети сопровождаемое искажение его формы, и таким образом влияет на коэффициент мощности преобразователя

Одним из путей повышения коэффициента мощности однофазного инвертора является применение одновременной коммутации тока вентилей инвертора, которая приводит к уменьшению эквивалентного индуктивного сопротивления обмоток тягового трансформатора, а значит падению напряжения в нем. Другим путем повышения  $K_m$  является включение диода между плюсовой и минусовой шинами инвертора. Включение диода убыстряет процессы коммутации в инверторе, повышает среднее значение его выпрямленного напряжения и позволяет уменьшить угол запаса  $\delta$  инвертора.

Таким образом, необходимо искать пути значительного повышения коэффициента мощности многозонного однофазного инвертора одними из которых является применение одновременной коммутации тока вентилей и диода между его плюсовой и минусовой шинами.

### **Особливості комутації під час перехідних процесів при ослабленому полі з урахуванням впливу відхилень параметрів тягових двигунів електровозів**

Шапалов А.В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Дуже часто тягові двигуни (ТД) рухомого складу залізниць зазнають перевантаження, які викликані різного роду перехідними процесами. Відомо, що під дією вихрових струмів, які виникають у магнітопроводі ТД під час перехідних процесів, зростання магнітного потоку сповільнюється відносно зростання струму. Це приводить до появи кидка струму у силовому колі двигуна. У випадку ослабленого збудження значення максимуму перехідного струму збільшується, що приводить до погіршення якості комутації. Для ТД питання про їх комутацію при всякого роду перехідних режимах при різних умовах має істотне значення, оскільки в умовах експлуатації стійкість двигуна стосовно комутації іноді визначає його працездатність.

Із існуючих експлуатаційних перехідних електричних процесів найбільш важким, з точки зору комутації, є процес, який викликається відривом струмоприймача від контактного проводу з наступним відновленням контакту при ослабленому збудженні двигунів. Крім того, перерва живлення по різних причинах може настати через короткочасне вимкнення напруги безпосередньо на підстанції.

По різних технологічних та інших причинах під час ремонту тягових двигунів в локомотивних депо та на ремонтних заводах розміри елементів магнітного кола додаткових полюсів (висота осердя, розточка остова та ін.) можуть відхилятися від номінальних розмірів, які вказані в кресленнях. По результатам обробки зібраних статистичних даних були побудовані відповідні гістограми замірів для кожного із елементів магнітного кола ДП наступних типів двигунів: ЕД-141 (СТК-730), СТК-520, НБ-511.

Отже, важливо дослідити вплив відхилень параметрів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації під час вищевказаного перехідного процесу з урахуванням ослабленого збудження для двигунів електрорухомого складу залізниць.



Для цього дослідження пропонується відповідна математична модель, що дозволяє розрахувати та отримати результати зміни основних параметрів моделі під час перехідного процесу: струму в колі двигуна, основного магнітного потоку і його гармонійних складових, магнітного потоку зони комутації і його гармонійних складових та ін.



## СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ»

### Сравнительный анализ схемных решений стабилизированной тяговой подстанции постоянного тока

Андриенко П.Д., Каплиенко А.О., Шило С.И., Немудрый И. Ю.  
(Запорожский национальный технический университет)

Свыше восьмидесяти процентов объемов железнодорожных перевозок приходится на электрифицированный железнодорожный транспорт. Увеличение объемов перевозимых грузов вызывает постоянный рост потребляемых энергоресурсов, требует замены морально и физически устаревшего оборудования энергообеспечения электроподвижного состава. Устаревшее оборудование необходимо заменять современным, которое не нуждается в обслуживании постоянным оперативным персоналом и гарантирует повышение надежности электроснабжения потребителей.

Обеспечение конкурентоспособности железных дорог (по сравнению с другими видами транспорта) достигнуто, прежде всего, за счет развития электрифицированного электроподвижного состава и соответствующей инфраструктуры, планомерной электрификации дорог страны, а также благодаря сокращению расходов на их эксплуатацию. При этом ясно, что инфраструктура системы электроснабжения, которая создавалась многие годы, не может быть радикально изменена в короткие сроки.

Одним из путей повышения эффективности систем электроснабжения контактной сети постоянного тока является нахождение оптимального схемного решения стабилизированной тяговой подстанции постоянного тока. На данный момент существует несколько схемных решений для стабилизации выходного напряжения. Поэтому авторами статьи была предпринята попытка провести сравнительный анализ предложенных схем с целью выявления их недостатков и достоинств.

Целью статьи является проведение сравнительного анализа различных схемных решений используемых для стабилизации выходного напряжения тяговой подстанции постоянного тока.

Для сравнения были выбраны основные схемные решения, которые сегодня применяются на тяговых подстанциях постоянного тока. Все рассматриваемые решения основаны на применении бесконтактных полупроводниковых приборов, что повышает надежность и качество регулирования выходного напряжения. В некоторых из сравниваемых решений для стабилизации выходного напряжения используется вольтодобавка. Этот способ стабилизации позволяет исключить неканонические гармонические составляющие выходного напряжения, возникающих в результате различного рода несимметрий, примером которых может послужить несимметричность напряжения в питающей трехфазной сети. Так же при использовании схемы стабилизации выходного напряжения возможно обеспечить быстродействующую защиту от токов короткого замыкания и достичь величины коэффициента мощности не ниже 0,98. Однако использование вольтодобавки имеет и недостатки, такие как повышенное падение напряжения за счет включения дополнительных ключей, обеспечивающих ее работу при выходе из строя одного ключа в плече, и довольно высокая стоимость, которая обусловлена тем, что установленные мощности ключей, должны быть равны мощности основного выпрямителя.

Выводы. В результате проведенного сравнения были выявлены достоинства и недостатки различных схемных решений, используемых для стабилизации выходного напряжения тяговой подстанции постоянного тока. Исходя из этого сравнения можно сделать заключение о целесообразности применения каждого из типов приведенных схемных решений в зависимости от необходимого уровня регулирования и качества стабилизации электрической энергии.



## **Концепция обновления и перспективы технического развития систем тягового электроснабжения**

Бадёр М.П. (МИИТ, Россия),

Сыченко В.Г. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина)

Механизмы реализации энергетической политики включают в себя прогнозирование энергопотребления, структурную и инвестиционную политику в области энергетики, научно-техническую и экологическую политику, систему стимулов и условий для энергосбережения. Процесс постановки и корректировки краткосрочных, среднесрочных задач в энергетической политике, а также выбор средств и методов их решения - это развивающийся процесс, включающий в себя мониторинг энергетической ситуации, прогноз возможных экономических и ресурсных тенденций.

Складывающиеся в последние годы новые социально-политические условия потребовали разработки новой энергетической политики. Для решения этой актуальной проблемы возникает необходимость и в перевооружении хозяйства электроснабжения электрифицированных железных дорог, создании концепции обновления и технического развития тягового электроснабжения, разработке концептуальных решений по нетрадиционным системам тягового электроснабжения.

Существующие системы тягового электроснабжения не всегда в состоянии обеспечить провозную способность железных дорог. Особенно остро эта проблема проявляется в системе электрической тяги постоянного тока 3 кВ на крупных транспортных узлах. Следовательно, необходимо искать способы повышения тягово-энергетических возможностей эксплуатируемых систем тягового электроснабжения.

Применение системы электрической тяги на переменном токе сопровождается значительными затруднениями, связанными с обеспечением качественного отбора электроэнергии от питающих энергосистем (несимметрия нагрузок и питающих напряжений, загрузка сети реактивными токами, искажение формы тока сети), сильными электромагнитными влияниями на все смежные устройства, низким качеством выпрямления однофазного переменного тока на электроподвижном составе и его относительно низким КПД.

Очередной виток научно-технического прогресса обусловлен бурным развитием силовой электроники и компьютерных технологий. Совершенствование системы электрической тяги и перспективы её развития предопределены необратимым процессом обновления всей системы преобразования энергии, затрачиваемой на перевозочный процесс. Применение преобразователей постоянного тока в трехфазный переменный ток, тиристорных преобразователей уровня напряжения постоянного тока, создание высокоэкономичных алгоритмов компьютерного управления преобразованием электроэнергии, замена коллекторных двигателей постоянного тока на бесколлекторные асинхронные трехфазного тока составляют основное направление технического перевооружения систем электрической тяги и в настоящее время широко используются в ряде промышленно развитых стран.

В настоящее время зарубежными фирмами освоены новые полупроводниковые приборы: силовые запираемые тиристоры типа GTO, GCT, IGCT и силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором типа IGBT. Аналогичные полупроводниковые приборы осваивают и отечественные предприятия. Для создания многопульсовых мостовых и кольцевых выпрямительно-инверторных преобразователей тяговых подстанций наиболее



эффективными представляются силовые транзисторы IGBT и запираемые тиристоры IGCT.

### **Універсальна Matlab-модель керованих, напівкерованих і некерованих тягових дванадцятипульсних випрямлячів послідовного типу**

Божко В. В. (ДНДЦ УЗ), Козачок В. М. (Південна залізниця)

Проблема організації регулярного швидкісного руху пасажирських поїздів із максимальними швидкостями 200-250 км/год на електрифікованих лініях вітчизняних залізниць пов'язана не тільки з необхідністю використання більш потужного електрорухомого складу, але і з необхідністю суттєвого підсилення тягового електропостачання. Останнє є особливо важливим для ліній, електрифікованих в системі постійного струму 3,3 кВ, пропускна здатність яких з боку тягового електропостачання значно поступаються пропускній здатності ліній, електрифікованих в системі однофазного змінного струму промислової частоти напруги 27,5 кВ.

З техніко-економічної точки зору задача підсилення тягового електропостачання для організації швидкісного руху на лініях, що експлуатуються є задачею забезпечення заданого (нормованого) рівня напруги на струмоприймачах швидкісного електрорухомого складу у всьому діапазоні реалізуємих ним тягових (гальмових) потужностей при мінімальних витратах на реконструкцію тягового електропостачання.

Для наглядного дослідження і віртуального вирішення проблем пов'язаних з тяговими діодними (некерованими), діодно-тиристорними (напівкерованими), і тиристорними (керованими) дванадцятипульсними випрямлячами послідовного типу, і силових підсилюючих агрегатів та покращення їх роботи в ДНДЦ УЗ розроблена універсальна Matlab-модель. Уніфікована Matlab-модель дванадцятипульсного випрямляча послідовного типу дає можливість виконувати віртуальні експерименти щодо енергетичних, стабілізуючих, фільтруючих і струмообмежуючих характеристик як власно керованої так і напівкерованої і некерованої схеми, задаючи системою управління відповідні обмеження по куту управління  $\alpha$  тиристорами мостів.

Результати моделювання дванадцятипульсних випрямлячів послідовного типу на універсальній комп'ютерній Matlab-моделі показують, що основним негативом тягових і підсилюючих перетворювальних агрегатів (ТПА і ППА) на основі цих схем є повна, або часткова, невідповідність їх основних характеристик, навіть при ідеальних умовах роботи, коефіцієнтів нестабільності вихідної напруги  $\xi > 0,05$ , потужності  $\lambda \leq 0,96$  та величини амплітуди низькочастотних гармонік  $U_{m\sim} > 100$  сучасним вимогам.

Комп'ютерне моделювання тягових і підсилюючих дванадцятипульсних випрямлячів в Matlab-середовищі з урахуванням дії всіх експлуатаційних і конструктивних факторів дає можливість вирішити задачу оцінки відповідності як коефіцієнта корисної дії  $\eta$ , так і коефіцієнтів нестабільності вихідної напруги  $\xi$ , потужності  $\lambda$  та величини амплітуди низькочастотних гармонік  $U_{m\sim}$  заданим сучасним нормам, а це відповідно 0,985, 0,05, 0,985 і 100 В.

### **Аналіз складно-замкнених електричних мереж матричним методом**

Бондар І.Л., Костів Г.І. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

В процесі експлуатації електричних мереж доволі часто треба виконувати розрахунки їхніх робочих режимів. Встановлений робочий режим електричної мережі



синусоїдального змінного струму визначається системою лінійних алгебраїчних рівнянь. Тільки на основі розрахунків відповідних систем можна вживати обґрунтовані заходи щодо підвищення економічності роботи досліджуваних мереж.

Схеми з'єднання ліній електричних мереж постійно ускладнюються. А тому і кількість рівнянь, що складають систему та підлягають сумісному розв'язку, постійно зростає. В дійсності вона може обчислюватися десятками, а іноді й сотнями. Разом з тим вимоги до точності виконання розрахунків робочих режимів досліджуваних мереж постійно підвищуються у відповідності до умов оптимізації режимів роботи та оптимізації рішень, що приймаються, про подальший розвиток систем електропостачання в цілому. Тому у багатьох випадках не можуть бути практично застосовані не тільки методи ручного обчислення, але й навіть звичайні статистичні моделі. Це пов'язано як з великою громіздкістю виконуваних розрахунків, так і з отриманням неприпустимо великих помилок.

Лінійні перетворення системи рівнянь найпростіше виконувати, користуючись спеціально пристосованим до цього математичним апаратом – алгеброю матриць. Відповідний метод аналізу, що заснований на застосуванні алгебри матриць та деяких елементарних положеннях топологічної теорії графів, названий матричним.

При розрахунку режимів електричної мережі як відомі величини приймають струми навантажень, що визначаються за відомими потужностями навантажень, і параметри ліній передачі розглядуваної мережі.

Згідно методу сукупність навантажень струмів визначають стовпцевою матрицею задаючих струмів та електрорушійних сил. Шуканими величинами при розрахунку струморозподілу в мережі є струми у вітках, сукупність яких також записується у вигляді матриці-стовпця. Параметри схеми заміщення мережі та її конфігурація, а також джерела енергії, що діють у схемі, записуються у вигляді матриць, які встановлюють взаємний зв'язок між цими величинами.

Взаємний зв'язок між матрицями встановлюється двома рівняннями стану електричного кола, які відповідають першому та другому законам Кірхгофа. Але для більш ефективного використання ЕОМ застосовують методи формулювання задач, до яких в першу чергу відносяться методи вузлових напруг та контурних струмів.

Розглядувана електрична мережа залізничного вузла зображена орієнтованим графом з 38 вершинами (вузлами) та 42 ребрами (вітками). Матричне рівняння узагальнює систему вузлових рівнянь тридцять сьомого порядку. Розв'язання його на ЕОМ дає розподіл струмів у всіх лініях мережі, що, в свою чергу, дає можливість визначити економічний переріз проводів ліній електропередачі розглядуваної мережі.

Важливо, що при використанні матричного метода економія розрахункового часу суттєво підвищується із ускладненням досліджуваних схем.

### **Аналіз пропускної спроможності при електрифікації нових ділянок Одеської залізниці**

Босий Д.О., Дубінін В.В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Пропускна спроможність ділянок є найважливішою характеристикою перевізних можливостей залізниці. Відповідно до діючої Інструкції з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України наявною пропускною спроможністю називається максимальне число вантажних поїздів встановленої ваги і довжини, які можуть бути пропущені



по цій ділянці за одиницю часу відповідно до її технічної оснащеності й прийнятого способу організації руху поїздів.

На Україні введена в дію «Програма електрифікації залізниць на 2008-2020 роки». На даний момент вона є однією із пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту України. До 2020 р. планується електрифікувати 2254 км колій. Основні роботи проводяться на Південній та Одеській залізницях.

Пропускна спроможність ділянок які знаходяться на тепловозній тязі менша ніж на електрифікованих. Тому електрифікація в 2008 р. ділянки Кременчук – Бурти – Користівка буде сприяти збільшенню пропускної здатності на шляху до вантажних портів Одеси, а в перспективі – втіленню проектного впровадження швидкісного руху шляхом розподілу вантажного й пасажирського потоків.

Наявна пропускна спроможність системи тягового електропостачання за кожним із показників навантажувальної спроможності (потужність силового обладнання тягових підстанцій; нагрівання проводів контактної підвіски; напруга на струмоприймачах електрорухомого складу), визначається окремо для кожної тягової підстанції і кожної міжпідстанційної зони розрахункової дільниці; найменше її значення визначає пропускну спроможність розрахункової дільниці заданим показником.

Пропускна спроможність системи тягового електропостачання перевіряється за умовами роботи захисту від струмів короткого замикання і за навантажувальною спроможністю елементів зворотної тягової мережі.

Для визначення результативної наявної пропускної спроможності напрямку в цілому обирається розрахункова дільниця, що входить до напрямку і має найменшу результативну пропускну спроможність.

До введення в експлуатацію ділянки Користівка – Кременчук проведені експериментальні дослідження, які дозволили попередньо встановити мінімальний міжпоїзний інтервал попутного слідування. Для цього зафіксовано параметри навантаження та режими напруги тягової підстанції, що консольно живить дану ділянку та вузловими схемами дві суміжні міжпідстанційні зони. Виконано електротяговий розрахунок вантажного поїзда максимальної ваги 5000 т та пасажирського вагою 1200 т. Враховано результати вимірювань лабораторією електрорухомого складу, зокрема рівень напруги на струмоприймачеві. Беручи до уваги повздовжній профіль ділянки, встановлено що максимально складним є пропуск непарного вантажного поїзда вагою 5000 т, тому рекомендовано обмежити пропускну спроможність інтервалом в 55 хв.

Після введення ділянки в експлуатацію успішно виконано пропуск двох вантажних поїздів вагою близько 3000 т в непарному напрямку з інтервалом в 20 хв та одного пасажирського.

Окрім обмеження пропускної спроможності ділянки, рекомендовано застосування на тяговій підстанції сучасного пристрою компенсації реактивної потужності, оскільки в перспективі збільшення розмірів руху коефіцієнт завантаження тягового трансформатора може значно перевищити номінальне значення.



## **Управління режимом компенсації реактивної потужності для зниження витрат за її споживання та генерацію на тягових підстанціях змінного струму**

Босий Д.О., Загинайко О.В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Основною метою застосування пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях та постах секціонування – підвищення рівня напруги в контактній мережі внаслідок зменшення індуктивної складової струму навантаження.

Ринкові відносини в електроенергетиці країни призвели до стимулювання з боку енергопостачальних компаній до встановлення власних пристроїв компенсації реактивної потужності у кожного потужного споживача.

При електрифікації залізниць потужності компенсуючих пристроїв розраховуються на певний вантажопотік, зменшення якого призводить до надлишкової генерації реактивної потужності в первинну мережу (перекомпенсація), а збільшення – до недокомпенсації. Оскільки встановлено трикратний тариф за генерацію реактивної потужності в енергосистемі, то питання оптимального режиму роботи компенсуючих пристроїв є досить актуальним.

Проведений аналіз роботи існуючих пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях Одеської залізниці показує, що на даний час практично на кожній підстанції присутня як перекомпенсація так і недокомпенсація. На деяких тягових підстанціях компенсуючий пристрій виведено з роботи, на деяких – його потужності недостатню, а на одній з підстанцій управління роботою виконується в ручному режимі, хоча пристрій виконано триступінчастим.

Оскільки тягове навантаження є змінним в часі та переміщується в просторі, то не один із вказаних режимів роботи компенсуючого пристрою не забезпечує нормативного коефіцієнта реактивної потужності, і очевидно є перевага регульованих у автоматичному режимі компенсуючих пристроїв.

Пристрої зі ступінчастим регулюванням реактивної потужності отримали широке застосування для промислових споживачем. Основною складовою, «мозковим центром» такого пристрою є мікропроцесорний регулятор реактивної потужності, від якого на 70 % залежить ефективність компенсації. Зазвичай регулятор реактивної потужності складається з чотирьох типових блоків та реле контролю коефіцієнта потужності. Необхідна ємність для компенсації обчислюється процесором для виконання корекції коефіцієнта потужності. Необхідне число конденсаторних ступенів підключається автоматично з мінімальним числом перемикачів.

Попередні оптимізаційні розрахунки показують що для забезпечення нормативного коефіцієнта реактивної потужності в одному плечі живлення тягової підстанції III цілком достатньо існуючого триступеневого компенсуючого пристрою з мікропроцесорним регулятором, запрограмованим на перемикання з 3-годинною витримкою часу. При цьому для прийняття рішення про ефективне перемикання не достатньо інформації про теперішнє значення реактивної потужності, а необхідно мати прогноз на наступні 3 години. Вирішення цієї проблеми можливе при застосуванні спеціальних прогнозних моделей з урахуванням нерівномірності графіку руху поїздів.

Застосування ступінчастого підходу до регулювання реактивної потужності в умовах інших тягових підстанцій можливе лише після виконання оптимізаційних розрахунків, в результаті яких буде визначено оптимальний ряд потужностей ступенів компенсуючого пристрою та оптимальне значення витримки часу за умови мінімізації кількості перемикачів та дотримання нормативного коефіцієнта реактивної потужності.



## **Аналіз ефективності застосування регульованої компенсації реактивної потужності в умовах Одеської залізниці**

Босий Д.О., Лойко А.В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Зниження втрат при передачі електричної енергії від генераторів до споживачів є досить актуальною задачею, а вирішення цієї задачі пов'язано з проблемою визначення реактивної потужності в колах з несинусоїдними величинами. Наявність реактивної потужності в колі з несинусоїдним режимом пов'язують з отриманим результатом при компенсації цієї потужності, тому існують різні її визначення, а саме:

- реактивна потужність як критерій оцінки додаткових втрат при передачі електричної енергії;
- реактивна потужність як міра зсуву фаз гармонійних складових струму відносно напруги (частотні методи);
- реактивна потужність як характеристика обміну енергією між генератором і навантаженням.

Реактивна потужність завантажує обмотки трансформаторів та проводи ЛЕП, в результаті цього явища збільшуються втрати електроенергії та зменшується наявна потужність існуючих пристроїв. Для компенсації таких негативних наслідків застосовують схеми паралельної та повздовжньої компенсації. Застосування пристроїв компенсації дозволяє стабілізувати та підвищити рівень напруги в тяговій мережі, підвищити коефіцієнт потужності, зменшити несиметрію струмів та напруг, зменшити втрати електричної енергії.

У зв'язку з коливанням тягового навантаження та напруги раціональніше застосовувати регульовані пристрої компенсації реактивної потужності. Ці пристрої можуть бути одноступінчастими чи багаступінчастими. Регульовані компенсуючі пристрої можуть виконуватись: з автотрансформатором, з вольтодобавочним трансформатором, з трансформаторами зібраними у відкритий трикутник.

У зв'язку зі значним зростанням кількості електричних навантажень, які погіршують якість енергії в мережі, на заміну застарілим пристроям компенсації приходять більш ефективне сучасне обладнання. На базі нових електронних IGBT, GTO або IGCT елементів досить просто збирати перетворювачі для поліпшення якості електроенергії.

Близько 15 років тому створені гнучкі системи передачі енергії змінного струму, які удосконалюються і дотепер. Найважливіша їх властивість – здатність поглинати або повертати реактивну потужність. Поперечна і повздовжня компенсація здійснюється статичним синхронним компенсатором. У цих системах вдається уникнути неможливості плавного переходу від ємнісного режиму роботи до індуктивного.

Також на сьогоднішній день розроблені фільтрокомпенсуючі пристрої, які усувають негативні впливи споживачів тягової мережі і засновані на принципі декомпенсації реактивного струму ємнісного характеру, який виникає в конденсаторах, встановлених в фільтрах вищих гармонік.

Один з таких пристроїв вперше впроваджено в експлуатацію на тяговій підстанції Одеської залізниці з метою доведення коефіцієнта потужності до нормативної величини та покращення параметрів якості електроенергії. В результаті впровадження досягнуто значне зниження споживання реактивної енергії на дослідній та суміжній з нею підстанціях. Одним з недоліків є генерація реактивної енергії в первинну мережу при виході з ладу кола декомпенсуючого пристрою. В цілому аналіз застосування регульованої компенсації свідчить про її доцільність та ефективність в умовах Одеської залізниці.



## Вивчення електромагнітних процесів в системах електропостачання електричного транспорту змінного струму

Босий Д.О., Сиченко В.Г. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Вивчення електромагнітних процесів в системі тягового електропостачання, як за методом модифікованого перетворення Лапласа, так і методом миттєвих характеристик потребує чіткого визначення електричних параметрів прийнятої схеми заміщення електровозу.

Найбільша кількість електрорухомого складу на залізницях змінного струму України припадає на випрямний тип електровозу. Лише два типи електровозів будуть створювати дещо інші особливості в режимі напруги, а саме ДСЗ та 2ЕС5К. Всі інші типи електровозів використовують діодну некеровану схему випрямлення для живлення тягових двигунів в тяговому режимі. Окрім вказаних винятків складають електровози типу ВЛ80С, в яких застосовується тиристорний перетворювач лише для здійснення режиму електричного гальмування чи рекуперації електричної енергії в первинну мережу.

Слід також зауважити, що відмінність форми струму електровозу змінного струму від синусоїди викликана не лише роботою випрямного пристрою, а й характеристикою намагнічення силового тягового трансформатора електровоза.

Через інший принцип дії перетворювального пристрою осцилограми первинних струмів електровозів ДСЗ та 2ЕС5К принципово відрізняються від осцилограм «випрямних» електровозів.

Для врахування впливу особливостей нових електровозів пропонується застосування статистичних моделей, отриманих по результатам дослідних поїздок. Математична модель електровозу, як нелінійного навантаження в цілому, повинна описувати залежність форми напруги на струмоприймачеві електровозу від форми споживаного ним струму. Таким чином такі статистичні моделі необхідно ідентифікувати у фазовій площині  $u(t) = f(i(t))$ .

На підставі узагальнення накопиченого статистичного матеріалу нами пропонується математична модель електровозу в загальному вигляді  $z(t) = f(u(t), i(t))$ , або в матричній формі  $Z_t = f(U_t, I_t)$ .

Основу цієї моделі складають матриці миттєвих значень струмів і напруги  $I_t$  та  $U_t$ , які складаються з відповідним чином обраних осцилограм.

Вертикальна розмірність матриць визначається частотою дискретизації сигналів струму та напруги, горизонтальна розмірність – величиною вибірки  $n$ , яка дорівнює кількості точок необхідних для апроксимації діючого значення струму електровоза при русі дослідною ділянкою. Кількість рядків цих матриць дорівнює кількості інтервалів дискретизації на одному періоді основної частоти. В частотному діапазоні від 0 до 2 кГц відповідно до теореми Котельникова (Найквіста) достатньо взяти 128 точок на відрізок в 0,02 с, що відповідає основній частоті в системі тягового електропостачання.

В результаті апроксимації залежностей миттєвих значень струмів і напруги за допомогою складених матриць можуть бути отримані характеристики функціонування електротягового навантаження, які в літературі називаються активними та обмінними характеристиками.

В доповіді більш детально розкрита запропонована методологія математичного моделювання електротягового навантаження та приведені результати порівняння залежностей активних та обмінних характеристик випрямних електровозів типу ВЛ80Т та ВЛ80С.



## **К вопросу о качестве электроэнергии в тяговой сети при работе электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения**

Буняева Е. В., Власьевский С. В., Скорик В. Г.

(Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия, [ele@festu.khv.ru](mailto:ele@festu.khv.ru))

На сегодняшний день для железнодорожного транспорта электрическая тяга является самой эффективной с точки зрения использования топливно-энергетических ресурсов. Одно из ее преимуществ – рекуперативное электрическое торможение, которое основано на свойстве обратимости электрических машин. За счет использования данного вида торможения снижаются расходы электроэнергии на тягу, потребление электроэнергии от внешнего электроснабжения на нетяговые нужды железнодорожной отрасли. Кроме этого, избыточная энергия может быть возвращена в энергосистему с соответствующим возмещением затрат на ее приобретение. В условиях постоянного роста тарифов на энергоресурсы использование рекуперативного торможения как важного резерва энергосбережения в перевозочном процессе является достаточно эффективным. Объективно его оценивают в 8–10 % возврата электроэнергии, израсходованной на тягу поездов.

Однако, помимо достоинств рекуперативного торможения, его применение оказывает негативное влияние на систему тягового электроснабжения переменного тока, в частности, снижает показатели качества электрической энергии.

Взаимоотношения в области качества электроэнергии между энергоснабжающими организациями и отраслью регулирует Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Основными показателями качества электроэнергии, регламентируемыми данным стандартом, являются коэффициент искажения синусоидальности напряжения и коэффициент  $n$ -ной гармонической составляющей напряжения. Многочисленные исследования качества электроэнергии в системе тягового электроснабжения при рекуперативном торможении электровозов показали, что качество электроэнергии в точке общего присоединения превышает максимально допустимый уровень искажений, устанавливаемых стандартом.

Тиристоры выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) электроподвижного состава переменного тока, выполняющие плавное регулирование напряжения на тяговых двигателях в режиме тяги и в режиме рекуперативного торможения, являются источником высших гармонических составляющих в кривой питающего напряжения. Искажение формы кривой питающего напряжения при работе электровоза в рекуперативном режиме объясняется возникновением естественной коммутации тока вентилей инвертора, которая происходит в конце каждого полупериода питающего напряжения. Физическая природа искажения синусоидальности переменного напряжения в тяговой сети заключается в возникновении режима короткого замыкания обмоток тягового трансформатора в интервалы коммутации вентилей ВИП, в результате которого на этих интервалах происходит провал в кривой синусоидального напряжения. Следствием является создание высших гармоник напряжения, что снижает качество электроэнергии в тяговой сети.

Из различных способов решения проблемы повышения качества электроэнергии в тяговой сети наиболее эффективны те, которые применяются на электровозах, так как они направлены на то, чтобы напрямую воздействовать на причину искажения синусоидальности кривой питающего напряжения.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что взаимодействие электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения с системой тягового электроснабжения и их влияние на качество электроэнергии в контактной сети является проблемой актуальной, неоднозначной и требует комплексного решения.



## Преобразователь формы напряжения для системы электроснабжения контактной сети переменного тока

Гончаров Ю.П., Замаруев В.В., Кривошеев С.Ю., Иванов А.Е., Морозов П.П. (НТУ «ХПИ»), Панасенко Н.В. (ДНДЦ УЗ), Сыченко В.Г. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина)

Наряду с очевидным достоинством, которое состоит в возможности непосредственной трансформации повышенного напряжения контактной сети (КС), система электроснабжения на синусоидальном переменном токе дает, тем не менее, двукратное недоиспользование КС по энергетическому коэффициенту (произведению относительной пропускной способности на относительные потери энергии) в сравнении с КС постоянного напряжения равного уровня. Действительно, при равной амплитуде напряжения, определяющей класс изоляции, действующее значение синусоидального напряжения, определяющее передаваемую мощность, в  $\sqrt{2}$  раз меньше. Поскольку потери энергии пропорциональны квадрату действующего тока в контактном проводе, то при равной мощности относительные потери на переменном токе вдвое выше. При ограничении по действующему току одновременно в  $\sqrt{2}$  раз меньше передаваемая мощность и больше относительные потери, а при ограничении по относительным потерям вдвое ниже передаваемая мощность. Этот недостаток преодолевается при использовании переменного напряжения с формой, приближенной к прямоугольнику (меандру). Поскольку периодическая перемена знака сигнала не влияет на его действующее значение, то при идеальных меандрах напряжения и тока получаем те же энергетические характеристики, что и при постоянном напряжении равного уровня. Основной эффект достигается при переходе к меандру напряжения за счет улучшения использования изоляции КС. В этом случае получаем повышение энергетического коэффициента в  $\frac{16}{\pi^2} = 1,62$  раза. За счет меандра тока получим повышение энергетического коэффициента еще в  $\frac{\pi^2}{8} = 1,23$  как следствие улучшения использования материала контактного провода. Большая индуктивность как собственно КС, так и трансформаторов системы электроснабжения препятствует получению тока с высокой крутизной фронтов. Однако, в этом, как следует из сказанного, и нет настоящей необходимости.

Возможность преобразования формы переменного напряжения появилась в последние годы в связи с разработкой IGBT-транзисторов с достаточно высоким быстродействием. В докладе анализируются структуры преобразователей формы (ПФ) напряжения, основанные на использовании последовательного активного фильтра (АФ) в контактном проводе, который может сочетаться с параллельным АФ. Однофазные АФ допускают последовательное соединение по выходу любого числа блоков, работающих в многофазном режиме по частоте широтно-импульсной модуляции (ШИМ), что позволяет обойтись без дополнительных трансформаторов и выходных фильтров частоты ШИМ, ограничиваясь установкой лишь фильтровых конденсаторов в звеньях постоянного тока. Параллельное звено фильтра может быть совмещено с АФ, симметрирующим нагрузку фаз питающей сети.

В докладе рассмотрены характеристики такой комбинированной системы активной фильтрации и выполнено ее сопоставление с альтернативной системой, заключающейся во введении вставки постоянного тока между питающей и контактной сетями. Как показал количественный анализ, установленная мощность активных фильтров примерно в 4 раза меньше в сравнении с преобразователями вставки постоянного тока при выполнении большей части ее функций.



## Разработка устройства подмагничивания полоза токоприемника постоянного тока

Грехов А. О. (Уральский государственный университет путей сообщения, Россия)

Одним из основных вопросов совершенствования устройств электроснабжения железных дорог является создание новых и модернизация действующих токоприемников. Одним из путей выполнения этой концепции является оборудование действующих и новых токоприемников постоянного тока система подмагничивания полоза токоприемника, позволяющими стабилизировать контактное нажатие в системе «контактная сеть – токоприемник». Это позволит в значительной мере уменьшить эксплуатационные расходы на содержание этих устройств и обеспечить высокий уровень безопасности движения поездов.

Одним из основных направлений совершенствования конструкции токоприемников является процесс уменьшения приведенной массы токоприемника за счет использования асимметричной конструкции, использования легких конструкционных материалов и возможности компенсации части инерционной составляющей силы токоприемника, которая приводит к уменьшению силы контактного нажатия ниже уровня допустимого значения. И одним из вариантов поддержания необходимого нажатия в заданных пределах является разработка устройств подмагничивания полоза токоприемника в зависимости от снимаемого тока. Рассматривая различные варианты устройств подмагничивания полоза токоприемника можно прийти к выводу, что использование обычных подмагничивающих катушек, расположенных на уровне полоза, не оправдано из-за малой величины силы Ампера и высокой массы этих катушек, которая приводит к сильному увеличению приведенной массы токоприемника. Например, используя обычную катушку с сечением медного проводника  $100 \text{ мм}^2$  и характерной длиной витка  $0,1 \text{ м}$ , расположенную на уровне полоза токоприемника при снимаемом тяговом токе  $1000 \text{ А}$ , получаем силу прижатия Ампера  $0,495 \text{ Н}$ . Для усиления магнитного поля возможно использовать ферромагнитный сердечник, но это приводит к еще большему увеличению массы катушек и увеличению приведенной массы токоприемника, что негативно сказывается на качестве токосъема. Использование постоянных магнитов также затруднено необходимостью их переполюсовки в процессе движения из-за перемены вектора направления тягового тока.

Одним из вариантов решения выше приведенных проблем является использование ферромагнитных материалов пониженной плотности. Таковыми являются коллоидные растворы магнитных наночастиц (около  $10 \text{ нм}$  в диаметре) в жидкой среде. В обычном состоянии наночастицы ведут себя как обычные постоянные магниты, поэтому полная намагниченность такой ферромагнитной жидкости равна нулю, до тех пор пока к ней не прикладывается магнитное поле тягового тока. Использование водонепроницаемых полостей с ферромагнитной жидкостью, расположенных на уровне полоза токоприемника, позволит обеспечить безотрывный процесс передачи энергии электроподвижному составу, что позволит значительно уменьшить процессы износа контактного провода и вставок полоза.

Выводы по работе:

- 1) Использование постоянных магнитов и подмагничивающих катушек затруднено из-за сильного увеличения приведенной массы токоприемника.
- 2) Необходимо использовать системы с ферромагнитными жидкостями, обеспечивающие необходимый диапазон прижатия полоза токоприемника при незначительном увеличении приведенной массы.
- 3) Применение таких систем позволит значительно уменьшить процессы износа в системе «контактный провод – вставки полоза токоприемника» за счет стабильности контакта.



## **Исследование применения усиленных электрических дренажей для противокоррозионной защиты газопроводов г. Днепропетровска**

Дьяков В.А. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна), Фарберов С.И., Гнилов В.В., Сорокендя В.С.  
(ОАО „Днепрогаз“), Дьяков А.В. (ГП „Приднепровская ж.д.“)

В 2008 году с целью проверки эффективности электродренажной защиты газопроводов г. Днепропетровска на участке между тяговыми подстанциями Н.Д. Узел и Днепропетровск - Грузовой сотрудниками ДИИТа, ОАО „Днепрогаз“ и ДЭЛ „Приднепровской ж.д.“ были проведены исследования.

Результаты этих исследований показали, что подключение поляризованных электрических дренажей в зоне тяговых подстанций эффективно только для газопроводов, расположенных на расстоянии до 5 км от тяговых подстанций. Одной из основных причин малой длины зоны защиты поляризованных электрических дренажей является плохое качество изоляции газопроводов, большинство из которых имеют срок эксплуатации более 30 лет.

В этой связи для обеспечения противокоррозионной защиты газопроводов, расположенных в зоне влияния электрической железной дороги постоянного тока, необходимо применить усиленные электрические дренажи, которые в отличие от катодных станций имеют распределённый анодный заземлитель (рельсовая сеть). Наличие распределённого анодного заземлителя позволяет усиленным электрическим дренажам более эффективно, по сравнению с катодными станциями, обеспечивать катодную поляризацию газопроводов. Результаты экспериментальных исследований проведенных в январе 2009 года, в зоне точки токораздела на подстанционной зоне Н.Д. – Узел – Днепропетровск-Грузовой подтвердили высказанные предположения.

Измерение потенциалов газопроводов производилось относительно медносульфатного электрода сравнения с помощью цифрового самопишущего прибора ПРИМА-40. Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица

Ток усиленного электродренажа, А	Среднее значение потенциала газопровода, В
0	-0,52
50	-0,74
80	-0,86
150	-1,01

## **Основы построения радиосистемы контроля неисправных токоприемников и гололедных режимов по дуговым нарушениям токосъема**

Жарков Ю.И., Семенов Ю.Г. (Ростовский государственный университет путей сообщения, Россия)

Исследование метода, основанного на регистрации радиоизлучений от дуговых нарушений скользящего контакта, позволили разработать основы построения автоматизированной стационарной системы диагностики дуговых нарушений токосъема АСДТ [1]. В широком смысле такая автоматизированная система должна объединять в себе возмож-



ность регистрации дуговых нарушений токосъема от неисправных токоприемников и гололедных режимов. Система должна контролировать участки контактной сети, подверженные, прежде всего, раннему образованию гололеда. Участок состоит из нескольких пролетов контактной сети, протяженность которого определяется чувствительностью системы. Для описываемой системы зона контролируемого участка контактной сети составляет порядка 2 км в обе стороны от антенного узла. Система имеет возможность проводить также контроль неисправных токоприемников по дуговым нарушениям токосъема. В этом смысле отдельные системы контроля, установленные в локальных местах тяговой сети, должны быть объединены в общую систему в рамках дистанции электроснабжения, диспетчерского круга, дороги и т.д. Для этого локальные системы должны иметь возможность передачи информации об участке, причинах, времени дуговых нарушений токосъема энергодиспетчеру в виде протокола событий, что можно реализовать только с помощью компьютерных информационно-вычислительных сетей. На рис. 1 показана общая структура такой системы АСДТ.

Основой системы АСДТ являются локальные радиосистемы контроля дуговых нарушений токосъема РС, устанавливаемые в контролируемых фидерных зонах. РС передают информацию об опасных дуговых нарушениях токосъема на энергодиспетчерский пункт (ЭДП). Предусматривается возможность передачи информации на ЭДП двумя путями. Первый путь – по каналам телемеханики в виде сигнала тревоги с указанием номера режима и номера участка (на рис. 1 жирные сплошные стрелки). Второй путь – по модемным каналам через компьютер станции, производственную сеть *INTRANET* на компьютер ЭДП с передачей протокола о времени, типе опасного режима, номере участка и т.д. (пунктирные стрелки на рис.1).

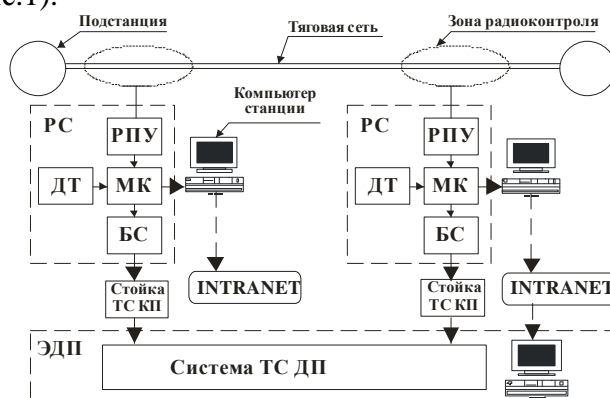


Рис. 1. Укрупненная техническая структура системы АСДТ

На рис. 1 показан укрупненный состав РС: РПУ – радиоприемное специализированное устройство; МК – цифровой микроконтроллер; БС – блок согласования с каналами телемеханики; ДТ – датчик температуры окружающей среды.

Технически локальная стационарная система РС была реализована по проекту филиала ОАО «РЖД» ПКБ ЦЭ в виде системы контроля дуговых нарушений токосъема под названием УОГ-2005. Опытный образец изготовлен заводом МЭЗ – филиалом ОАО «РЖД».

Вид системы представлен на рис. 2. Конструктивно система состоит из трех основных устройств: антенного узла, устройства приема и обработки сигналов и датчика температуры окружающей среды. Конструкцией предусмотрено как внутреннее, так и наружное размещение антенного узла. Датчик температуры служит для определения диапазона температуры гололедных образований.





Рис. 2. Стационарная радиосистема регистрации дуговых нарушений токосяема УОГ-2005

Принципиальная схема антенного узла показана на рис. 3. Узел содержит штыревую антенну WA1, принимающую электрическую составляющую электромагнитного поля излучения, и магнитную ферритовую антенну WA2. Дроссель  $L1$  служит для согласования фаз сигналов с обеих антенн с целью получения диаграммы направленности в виде «кардиоиды». Направленность диаграммы позволяет снизить уровень посторонних сигналов эфира, приходящих с тыльной от антенны стороны пространства. Антенный узел заключен в разрезной трубчатый экран. Индуктивность катушки WA2 совместно с емкостью  $C1$ , располагаемой в устройстве приема и обработки сигналов (рис. 4), образуют колебательный контур, осуществляющий высокочастотную селекцию радиоизлучения. При установке антенного узла штыревая антенна ориентируется вертикально, а разрезной экран прорезью ориентируется на тяговую сеть контрольного участка.

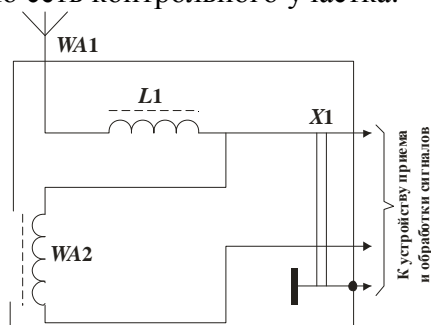


Рис. 3. Схема антенного узла

Предусмотрена установка антенного узла на высоте не менее 7...8 м над уровнем железнодорожного полотна выше контактной подвески для исключения эффекта экранирования сигналов тросами группового заземления, подвесками других путей и пр. В случае использования для места установки системы зданий антенный узел должен быть размещен внутри на уровне не ниже верхнего уровня второго этажа здания или на наружной стене в непосредственной близости от устройства приема и обработки сигналов.

На рис. 4 показана развернутая структурная схема устройства приема и обработки сигналов.

Устройство УПОС содержит специализированное радиоприемное устройство, состоящее из блоков ПС1, УВЧ, ЛАД, ОФ и УИС. Такая структура обусловлена спецификой смеси радиосигналов, принимаемых радиосистемой.



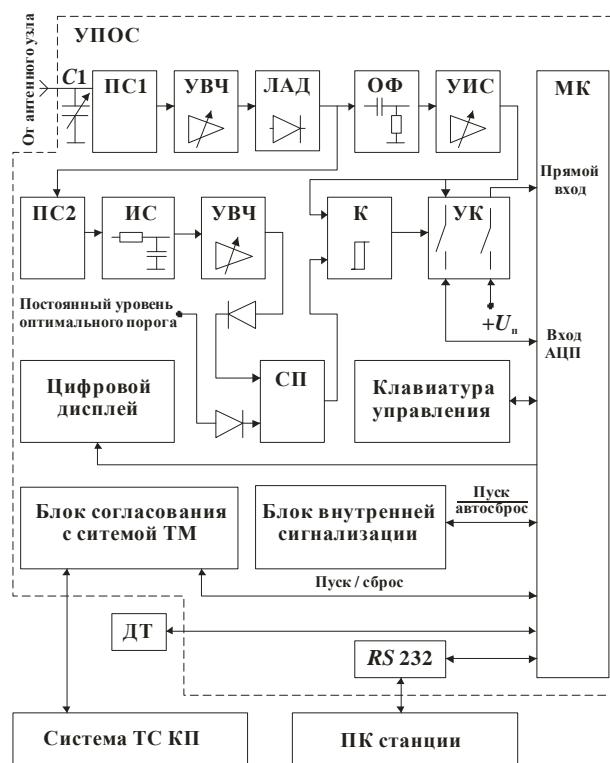


Рис. 4. Структурная схема устройства приема и обработки сигналов УПОС

Так полезные сигналы от одиночных дуговых нарушений (например, от дефекта токоприемника) воспринимаются антенным узлом в виде пакетов часто чередующихся импульсов значительной амплитуды. Характерная осциллограмма огибающей высокочастотного излучения от дугового отрыва показана на рис. 5. Появление пакетов импульсных сигналов связано с неустойчивым характером дуги и повторными пробоями промежутка в нарушенном контакте в момент, близкий к переходу тока через нуль.

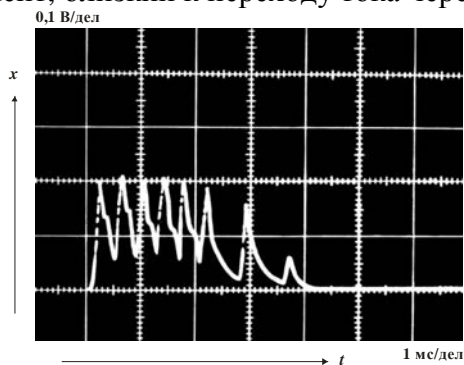


Рис. 5. Осциллограмма огибающей радиосигнала от дугового отрыва (переменный ток)

Огибающие радиосигналов от дугового токосяема при гололеде воспринимаются системой в виде непрерывно чередующихся импульсов радиоизлучения. На рис. 6 показан фрагмент осциллограммы огибающей радиосигналов от дугового токосяема при гололеде.

Импульсы соответственно типа 1 и 2 повторяются с периодичностью, близкой к полупериоду тока (10 мс). Анализ гистограмм свидетельствует, что при гололедном режиме импульсные выбросы большого уровня (тип 2) очевидно образуются пробоями промежутка в начале полупериода тока, а выбросы меньшего уровня (тип 1) – срезами тока перед подходом тягового тока к нулевому значению.



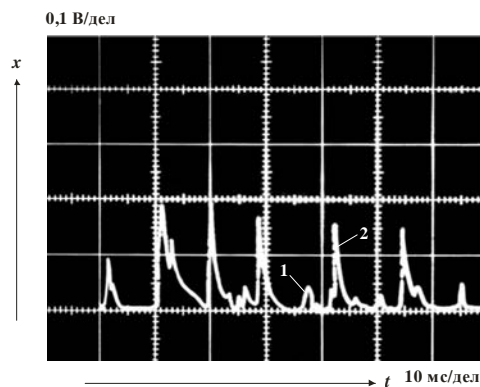


Рис.6. Осциллограмма огибающей радиосигналов от дугового токосъема при гололеде

Система вынуждена производить выделение полезных импульсных радиосигналов на фоне двух видов помех: случайных помех «гладкого» фона относительно устойчивого уровня и импульсных помех от коммутационных процессов оборудования локомотива достаточно большого уровня, соизмеримого с уровнем полезных импульсных сигналов и имеющих схожую с сигналом форму. На рис. 7 показана характерная форма коммутационной помехи от переключения оборудования в электровозе.

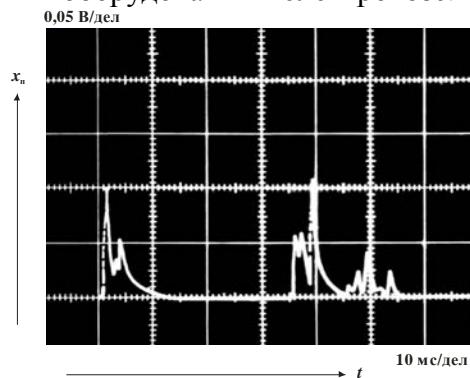


Рис. 7. Огибающая радиоизлучения помех от коммутационных переключений в электровозе

Отстройка системы от «гладких» помех фона производится в системе с помощью оптимального фильтра и оптимального порога срабатывания. Различение импульсных пакетов сигналов от импульсных помех локомотива осуществляется программным путем микропроцессором системы МК по алгоритму [2].

Устройство УПОС работает следующим образом. Высокочастотный сигнал, выделенный резонансным контуром, образованным индуктивностью  $W_2$  антенного узла и конденсатором  $C_1$  переменной емкости, поступает на повторитель сигнала ПС1, согласующий выходное сопротивление резонансного контура с входными цепями линейного усилителя высокой частоты УВЧ. Полоса принимаемых частот регулируется конденсатором  $C_1$ . Необходимое усиление по высокой частоте регулируется в УВЧ. Усиленный высокочастотный сигнал детектируется линейным амплитудным детектором ЛАД, на выходе которого образуются сигналы, огибающие изменения высокочастотного процесса. Сигнал огибающей процесса поступает на оптимальный фильтр верхних частот, который подавляет постоянную и низкочастотную составляющие помехи «гладкого» фона, пропуская на выход только короткие импульсы, соответствующие импульсам от дуговых нарушений и ряд импульсов от возможных коммутационных помех от электроподвижного состава. Сигнал с выхода ФВЧ усиливается импульсным усилителем УИС и поступает на один из входов компаратора К. На второй вход компаратора К подается опорный пороговой сигнал оптимального уровня. Опорный сигнал образуется следующим образом. Детектированный си-



гнал через повторитель сигнала ПС2 поступает на интегратор сигнала ИС, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный уровню «гладкой» фоновой помехи. Этот сигнал усиливается до необходимого уровня усилителем УПТ и подается на вход блока суммирования порогов СП. На второй вход СП подается опорный постоянный уровень оптимального порога регистрации. Интегрированный сглаженный сигнал не влияет на значение установленного заранее постоянного оптимального порога регистрации до тех пор, пока он меньше установленного оптимального порога. Если интегральный сигнал от гладкого фона превысит уровень оптимального порога, то срабатывание компаратора будет происходить относительно суммы интегрированного уровня сигнала гладкого фона и установленного порога. При превышении уровня импульсного сигнала от УИС уровня порога от СП компаратор К сработает и подаст управляющий импульсный сигнал на сборку управляемых электронных ключей УК. Ключи замыкаются на время действия импульса компаратора и через них поступают сигналы для прямого запуска программы микроконтроллера МК (прямой вход) для обнаружения пакетов импульсов и аналоговый сигнал от УИС для анализа его параметров. МК работает по алгоритмам, приведенным [1].

Алгоритм распознавания неисправных токоприемников состоит, прежде всего, в отделении пакетов полезных сигналов одиночных дуговых нарушений токосъема, появляющихся при прохождении неисправного токоприемника по контрольному участку контактной сети, от импульсных одиночных и сдвоенных импульсных помех. Алгоритмом фиксируется также периодичность повторения дуговых нарушений токосъема в пролетах контактной сети контрольного участка. Для распознавания дугового токосъема в режиме гололеда используется алгоритм, предусматривающий сравнение суммарного зафиксированного количества импульсов в реализации за выбранное время с некоторым пороговым значением. Для реализации алгоритма распознавания дуговых нарушений в режиме гололеда на микропроцессор дополнительно подается информация от цифрового датчика температуры окружающей среды ДТ.

МК формирует команды на срабатывание внутренней сигнализации и на ее периодический сброс, а также команды на передачу сигнала о факте нарушения в систему телесигнализации ТС КП через блок согласования с системой телемеханики. МК производит формирование протокола событий о дуговых нарушениях токосъема. Установка параметров и порогов, требуемых для реализации программного алгоритма распознавания режимов дуговых нарушений, вызов страниц протокола событий производится со встроенного блока клавиатуры. Для чтения протокола и контроля значений, установленных параметров, используется цифровой жидкокристаллический дисплей. МК имеет порт RS 232 для подключения персональной ЭВМ, с помощью которой может быть реализован канал передачи сообщений энергодиспетчеру по производственной сети *INRANET*, а также осуществлена первичная загрузки или перезагрузка программ работы МК.

В качестве подтверждения правильности алгоритма и функционирования системы ниже приводятся примеры сигналов от дуговых нарушений токосъема, регистрируемых стационарной системой. На рис. 8, 9, 10 и 11 приведены осциллограммы процессов соответственно при одиночном дуговом отрыве, при дуговом нарушении на воздушном промежутке, при проходе токоприемником секционного изолятора и от токосъема при гололеде, полученные с выхода УИС при испытаниях системы в эксплуатационных условиях.

Одиночное дуговое нарушение (рис. 8) состоит из четырех пакетов импульсов, каждый из которых представляет собой плотный пакет. Очевидно, что в длительность отрыва токоприемника попали два перехода тягового тока через нуль. Пакеты следуют парами с периодом повторения, примерно равным полупериоду тока и образованы повторными пробоями воздушного зазора после среза тока в конце полупериода и повторными пробоями в начале полупериода перед зажиганием устойчивой дуги. Время пауз между импульсами в каждом пакете меньше установленного порога идентификации пакета, поэтому ка-



ждый такой пакет будет идентифицирован системой как отдельное дуговое нарушение. Так как длительность пауз между соседними пакетами составляют менее 10 мс, то такой сигнал объединяется системой в одно дуговое нарушение.

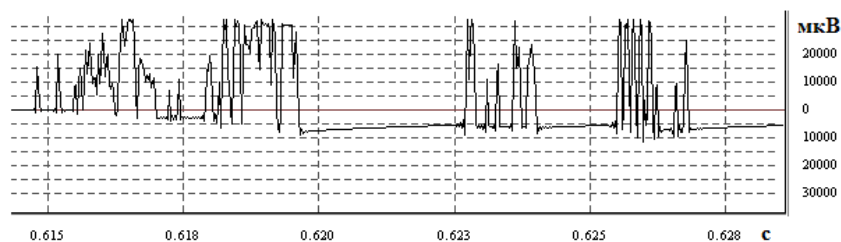


Рис. 8. Осциллограмма сигнала от дугового отрыва токоприемника электровоза грузового поезда

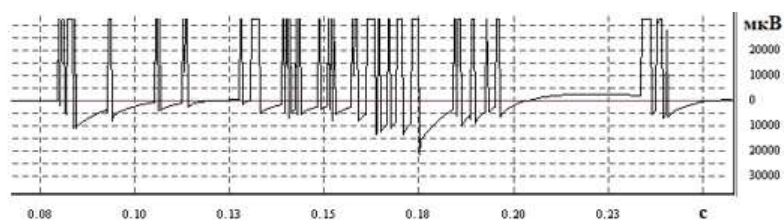


Рис. 9. Осциллограмма сигнала от дугового нарушения при проходе токоприемником воздушного промежутка

Общая длительность пакета импульсов при проходе токоприемником воздушного промежутка (рис. 9) составила порядка 240 мс. В таком сигнале присутствуют локальные пакеты, в которых отрезки времени пауз между соседними импульсами меньше установленного порога. Пакеты друг от друга отстоят на интервалах времени более 10 мс. Поэтому такой процесс будет зарегистрирован системой как несколько дуговых нарушений.

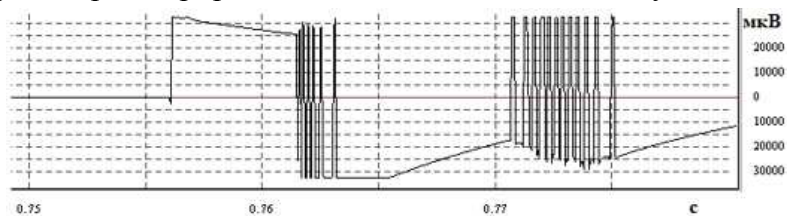


Рис. 10. Осциллограмма сигнала от дугового нарушения на секционном изоляторе

При дуговом нарушении на секционном изоляторе (рис. 10) зарегистрировано два пакета, плотность которых также соответствует условию объединения содержащихся в них импульсов в пакеты. Пауза между пакетами менее 10 мс. Система регистрирует такой сигнал как одиночное дуговое нарушение.

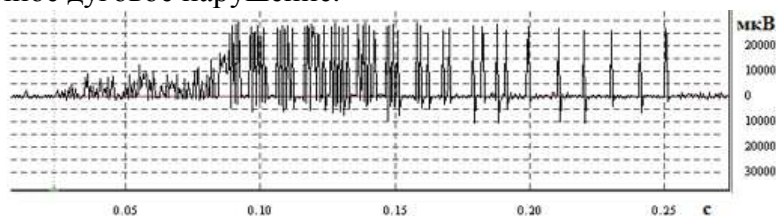


Рис. 11. Осциллограмма сигнала при проходе токоприемником гололедного участка



Экспериментальная запись сигналов от дугового нарушения токосъема при гололеде соответствует следующим условиям: искусственный гололед при температуре  $-8^{\circ}\text{C}$ ; протяженность – 3 м; электровоз ЧС4 переменного тока с пассажирским составом при скорости около 40 км/ч; сближение с антенным узлом – 35 м. Длительность реализации  $T_p$  составляет порядка 280 мс. Как видно, процесс состоит из плотных пакетов и отдельных одиночных и сдвоенных импульсов. Общее число фактов будет больше числа установленного порога  $g = 2 \cdot f \cdot T_p$ , где:  $f$  – частота тока;  $T_p$  – время реализации. Такой состав полностью соответствует алгоритму распознавания дугового токосъема при гололеде и будет зарегистрирован как рассматриваемый режим.

На рис. 12 показана характерная осциллограмма сигналов от коммутационных помех электроподвижного состава. Как видно отдельные импульсы не могут быть объединены в пакет, т.к. условия алгоритма распознавания дуговых нарушений по длительности пауз между импульсами и по количеству зарегистрированных подряд импульсов не выполняются. Такой сигнал будет определен системой как помеха и зарегистрирован не будет.

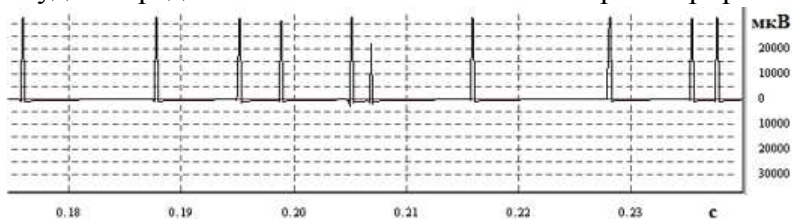


Рис. 12. Осциллограмма сигнала от коммутационных помех электроподвижного состава

Таким образом, радиосистема регистрации дуговых нарушений токосъема производит различение сигналов, способна проводить идентификацию дуговых нарушений, регистрировать неисправности токоприемника и гололедные режимы по дуговым нарушениям токосъема.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. РФ №2249511. Способ непрерывного контроля качества взаимодействия контактной подвески и токоприемников электроподвижного состава / Жарков Ю.И., Семенов Ю.Г., Фигурнов Е.П. Опубл. 10.04.2005. Бюл. №10.
2. Ю.И. Жарков, Ю.Г. Семенов. Основы принятия оптимальных решений системой контроля дуговых нарушений токосъема // Вестник РГУ ПС. Ростов-на-Дону. 2006. №3. с. 82 – 85.

#### Опыт разработки измерительно-вычислительного комплекса для вагона «Тягово-энергетическая лаборатория»

Зубенко В.А., Сирота С.А. (НПП «Автоматика-Сервис», г.Днепропетровск, тел. +38-0562-34-02-51, vas@avserv.dp.ua)

Работа железнодорожного транспорта в условиях рыночных отношений, усиление роли экономических факторов выдвигают объективные требования перехода на научно обоснованные подходы к технологии перевозочного процесса. Роль вагонов-лабораторий в этом процессе сложно переоценить. Однако парк вагонов-лабораторий ж.д. Украины, который был создан ещё в 50 годах прошлого века, к 2000 году устарел как морально, так и физически. В эксплуатации оставались только вагоны Донецкой, Юго-Западной и Одесской дорог.

Начиная 2002 года Главным управлением локомотивного хозяйства «Укрзалізниці» был проведен ряд организационных мероприятий по восстановлению и модернизации вагонов-лабораторий. В 2003 году было разработано и утверждено техническое задание (ТЗ)



на разработку унифицированного измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) Дорожной тягово-энергетической лаборатории. В том же году наше предприятие приступило к созданию ИВК в вагонах-лабораториях Южной и Юго-Западной дорог.

В процессе разработки ИВК, кроме ТЗ, во внимание принимались также «Проект технических требований и технического задания», выполненных работниками тягово-энергетической вагона-лаборатории Донецкой ж.д. под руководством начальника вагона Ющенко В.А. Учитывался опыт ВНИИЖТа по созданию ИВК для Российских ж.д., и наш собственный опыт разработки ИВК для вагона-лаборатории ДЭВЗ(а), созданного для тяговых испытаний электровоза ДСЗ.

Одним из основных требований, которым должен удовлетворять комплекс, это возможность гибкой настройки на решение множества задач, в том числе не сформулированных на настоящее время. Учитывая это, а также имея положительный опыт создания ИВК вагона-лаборатории ДЭВЗ, была выбрана распределенная структура системы сбора информации с созданием специализированных измерительных модулей рис.1.

В качестве интерфейса связывающего между собой все модули системы был выбран стандарт RS485, который подразумевает использование единственной двухпроводной шины данных для объединения устройств в составе комплекса. Такое решение кроме возможности гибко конфигурировать систему, т.е. включать в состав ИВК только необходимые в данный момент измерительные модули, позволяет значительно ускорить сам процесс подключения, сводя его к прокладке одного кабеля вдоль всего локомотива.

Особое внимание, по просьбе работников вагонов, было уделено гальванической развязке измерительных цепей, которая достаточно просто реализуется при таком построении системы. Многоступенчатая гальваническая развязка в каждом измерительном модуле, плюс инфракрасный канал передачи данных между локомотивом и лабораторией, обеспечивают надежное и безопасное проведение измерений.

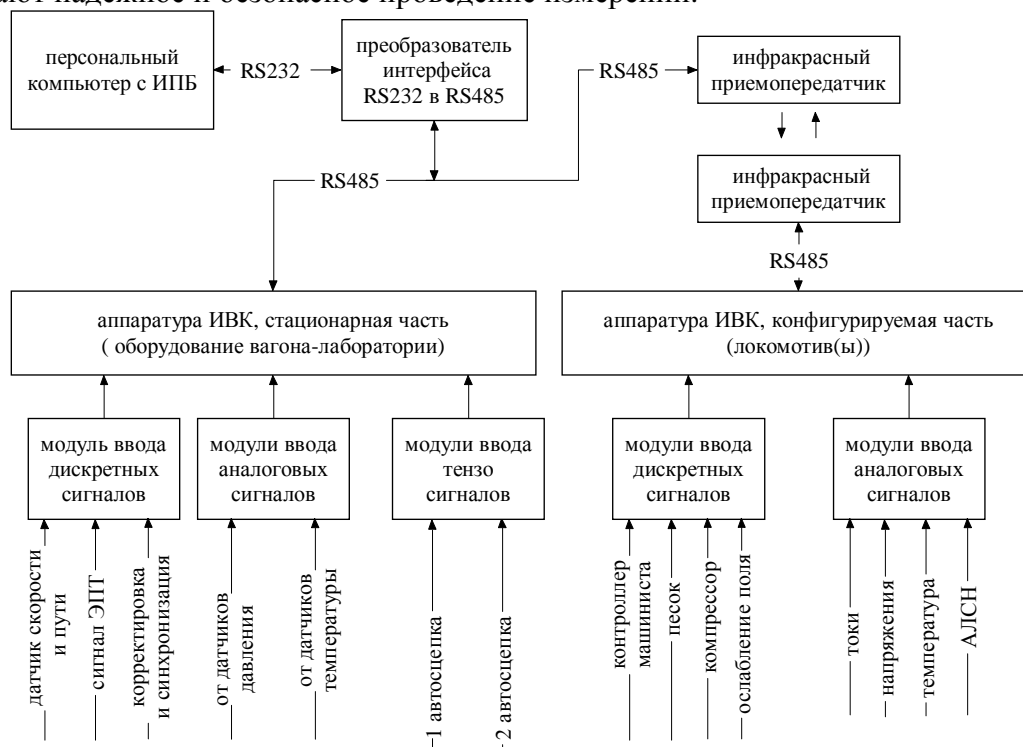


Рис. 1 Структура аппаратной части ИВК вагона тягово-энергетической лаборатории

В процессе работы над созданием ИВК были разработаны измерительные модули, перечень которых приведен в табл. 1. На этапе разработки для них была заложена совмести-



мость протокола обмена по интерфейсу RS485 с измерительными модулями семейства ADAM фирмы Advantech.

Таблица 1

Модуль	Описание	Краткие характеристики
AC0101	Модуль блока питания и преобразователя интерфейса RS232 в интерфейс RS485	Обеспечивает питание измерительных модулей напряжением 24В, и имеет две модификации на разные входные напряжения, 220В переменного и 50...150 В постоянного тока
AC0201	Модуль ввода дискретных (данетных сигналов)	10 канальный модуль с возможностью ввода импульсных сигналов. Входное напряжение 12 В, при применении дополнительного делителя 50 ...150 В.
AC0303	Модуль ввода унифицированных аналоговых сигналов	Рассчитан на подключение различных датчиков со стандартным выходным сигналом 4...20 мА
AC0402	Модуль ввода аналогового сигнала с оптической развязкой	Измерение постоянного/переменного напряжения в диапазоне 0...300 мВ
AC0403	Модуль ввода аналогового сигнала с оптической развязкой	Измерение постоянного/переменного напряжения в диапазоне 0...1500 В
AC0408	Двухканальный модуль ввода аналоговых сигналов с оптической развязкой	Измеряет ток, напряжение, мощность, коэффициент мощности, выполняет функции счетчика активной и полной энергии
AC0501	Модуль преобразования интерфейса RS485 в инфракрасный канал	Обеспечивает работу измерительных модулей с выходным оптическим каналом
AC0601	Модуль сельсин приёмника	Позволяет измерять угол поворота вала контакторов в электровозах переменного тока
AC0602	Модуль ввода сигналов АЛСН	Предназначен для ввода сигналов АЛСН в ИВК
AC0603	Модуль ввода аналогового сигнала от тензодатчиков	Предназначен для совместной работы с динамометрической автосцепкой АДМ ДИИТ(а).

Как видно на рис. 1 аппаратная часть ИВК состоит из стационарной и конфигурируемой частей.

#### Стационарная часть аппаратуры ИВК (вагон лаборатории)

Согласно ТЗ ИВК оборудован двумя персональными компьютерами с источником бесперебойного питания и мультимониторным щитом для отображения информации фото 1.

В вагоне-лаборатории установлен ряд датчиков и соответственно измерительных модулей которые размещены в тамбурах вагона и в навесном шкафу внешний вид которого приведен на фото 2.



Фото 1. Мультимониторный щит

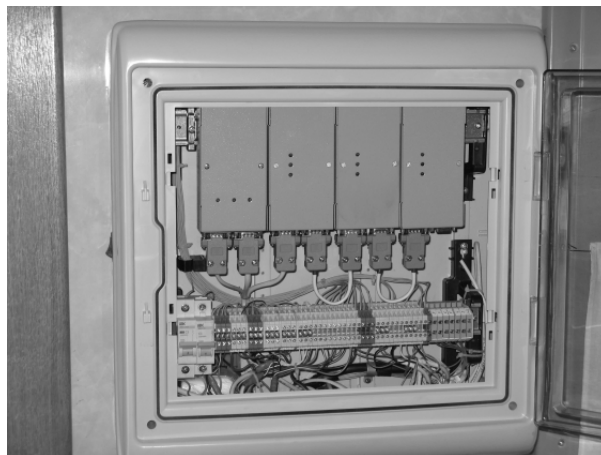


Фото 2. Шкаф с измерительными модулями



Сюда входят следующие модули:

Модуль блока питания и преобразователя интерфейса АС0101.

Модуль ввода дискретных сигналов АС0201, к которому подключены следующие датчики:

- датчик скорости и пройденного пути ДПС производства предприятия «Трансконтур» г. Хмельницкий с импульсным выходом (фото 4),
- сигнал электропневматических тормозов (ЭПТ).
- дискретные сигналы с пульта синхронизации и дополнительных отметок (пикет, ось станции, и т.п.).

Модули ввода аналоговых сигналов АС0303, к которым подключены:

- датчик давления тормозного цилиндра,
- датчик давления накопительного резервуара,
- датчик давления тормозной магистрали (фото 3),
- датчик температуры окружающего воздуха,
- датчик атмосферного давления.

Модули ввода тензометрических сигналов АС0603, на входе которых включены динамометрические автосцепки ДИИТ(а) (фото 5).

Набор измерительных модулей в локомотиве собирается исходя из конкретной цели опытных поездок. Типовым является использование модулей АС0201/АС0601 для ввода позиций контроллера машиниста для электровозов постоянного/переменного тока соответственно, модулей АС0201 для контроля положения коммутационной аппаратуры.

При помощи модулей АС0402, АС0403, АС0408 (фото 7), устанавливаемых в высоковольтной камере, измеряются токи и напряжения тяговых двигателей, генераторов, напряжение контактной сети. Особенностью этих измерительных модулей является аккумуляторное питание, инфракрасный канал передачи данных и способность выполнять измерения под высоким потенциалом. На фото 8 показаны измерительные модули установленные в высоковольтной камере. При помощи модуля АС0201 измеряются обороты двигателей, а применяя расходомеры с импульсным выходом, измеряют объем и расход топлива в дизельных локомотивах. Наличие большого количества первичных преобразователей физических величин в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА, дает возможность, используя модуль АС0303 измерять давление, температуру (в том числе дистанционно пиротехническими термометрами), перемещение и т.п.

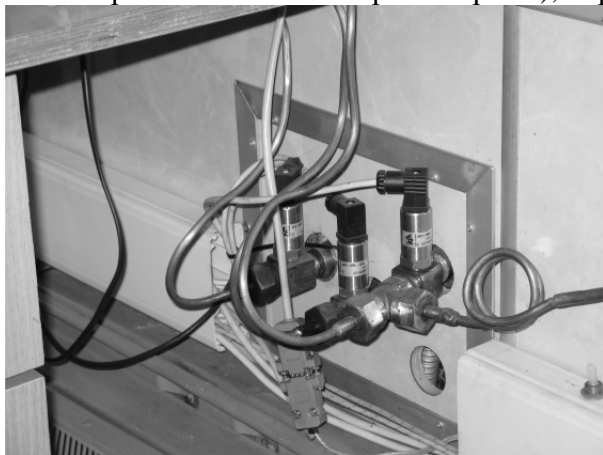


Фото 3. Датчики давления в вагоне



Фото 4. Датчик скорости и пути

Кроме этого в тамбурах установлены модули преобразователи интерфейса RS485 в инфракрасный канал (фото 6).





Фото 5. Динамометрическая автосцепка ДИИТа



Фото 6. Инфракрасный приемопередатчик в тамбуре вагона

### Конфигурируемая часть аппаратуры ИВК (локомотив)



Фото 7. Внешний вид модуля AC0403



Фото 8. Монтаж в высоковольтной камере

Программное обеспечение (ПО) комплекса обеспечивает сбор, обработку и выдачу информации по опытным поездкам в реальном масштабе времени. Результаты опытных поездок хранятся в базе данных, где дополнительно содержится информация о разных типах локомотивов, профилях участках, графиках движения поездов, постоянно действующих ограничениях скорости движения, действующие режимные карты и другая информация необходимая для проведения тяговых расчетов.

ПО представляет из себя программный комплекс, в его состав входит следующее программное обеспечение:

- Программа «**Справочник участков**», предназначена для ведения информации по участкам дорог, профилям. Кроме того, при помощи этой программы в систему могут быть занесены ограничения для различных участков дороги, указаны остановочные пункты и нейтральные вставки.

- Программа «**Справочник локомотивов**», предназначена для ведения информации по локомотивам.

- Программа «**Справочник поездов**», предназначена для формирования списка поездов и составления расписания движения. Позволяет работать со станциями участков, корректировать время прибытия и продолжительность стоянки состава на каждой станции, а также устанавливать начальную и конечную станции участка.

- Программа «**Справочник контроллеров**» предназначена для описания характеристик измерительных модулей, а также позволяет указать список параметров, измеряемых каждым контроллером соответственно.



– Программа **«Справочник персонала»** предназначена для ведения информации по вагону-лаборатории и работать с данными персонала.

– Программа **«Редактор формул»** предназначена для создания, корректировки конфигураций, установления зависимости между параметрами конфигурации и датчиками, с ее помощью в систему могут быть занесены глобальные переменные, список горячих клавиш для работы с журналом, а для параметров могут быть введены возможные значения и формулы, по которым их необходимо производить вычисления

– Программа **«Испытатель поездок»** предназначена для произведения измерений и вычислений параметров во время поездки, построения графиков и отчетов на основе собранных данных, позволяет вести архив, с помощью которого можно осуществлять эмуляцию проведенных ранее поездок.

– Программа **«Совокупный отчет»** предназначена для сравнительного анализа перегонных времен хода на одном и том же участке нескольких испытательных поездок.

– Программа **«Редактор форм просмотра»** предназначена для создания форм, позволяющих осуществлять визуализацию значений измеряемых во время поездки параметров в удобном для пользователя виде.

– Программа **«Резервирование БД»** предназначена для резервирования баз данных поездок с целью их восстановления после возможных сбоев персонального компьютера пользователя.

По результатам опытных поездок комплекс позволяет производить тягово-энергетические расчеты, расход электроэнергии и дизельного топлива на тягу, перегонные скорости хода и т.д., проводить эмуляцию опытных поездок с возможностью задания временного масштаба, формировать, по утвержденным ЦТ формам, отчеты в удобном для восприятия виде.

В настоящее время унифицированным ИВК оборудованы четыре вагона лаборатории «Укрзалізниця». На основании полученного опыта был оборудован ИВК вагон «Тормозо-испытательная лаборатория» Одесской дороги. При этом был дополнительный разработан модуль АС0604 для трех осевого измерения ускорения. Опыт эксплуатации ИВК подтвердил надежность работы выбранной структуры системы, с точки зрения обеспечения гибкости аппаратных и программных средств.

### **Сравнительный анализ линейных изоляторов для контактных сетей железных дорог**

Ким Ен Дар, Сыченко В. Г., Калмыков В. Л., Назаренко А. В.

В контактных сетях железных дорог в настоящее время наряду с фарфоровыми тарельчатыми изоляторами все шире применяются полимерные стержневые изоляторы, что обусловлено их высокой устойчивостью к специфическим эксплуатационным воздействиям. Выбор полимерных изоляторов и гирлянд из тарельчатых изоляторов осуществляется по одним и тем же критериям: по минимальной длине пути утечки и по величинам выдерживаемых перенапряжений при различных внешних условиях.

Изоляторы большее количество времени эксплуатируются в нормальных условиях, при которых напряжение в сети не превышает наибольшего нормированного значения и сами изоляторы находятся в слабо загрязненном и увлажненном состоянии. В таких условиях заведомо принимается, что изоляторы целиком выполняют изолирующую функцию, поэтому диэлектрические свойства изоляторов в нормальном режиме работы не рассматривались. Вместе с тем, поскольку срок службы изоляторов составляет 25-30 лет и более, то вполне допустимо, что за счет эффекта накопления воздействующих факторов изоляторы постепенно могут утрачивать свои изолирующие свойства. Поэтому будущее состояние изоляции в процессе эксплуатации может зависеть от их статических характеристик, таких как сопротивление изоляции и соответствующие токи утечки, напряженность элек-



трического поля. Очевидно также, что названные статические характеристики изоляции могут в той или иной степени повлиять на технико-экономические показатели самой сети.

В нормальных условиях электростатические процессы на изоляторах настолько слабы, что определить их количественно экспериментальным путем практически не представляется возможным. Поэтому в настоящей работе авторами сделана попытка определить электрические характеристики изоляторов в нормальном режиме их работы путем математического моделирования электрического поля изоляторов. Зная распределения электрического поля несложно установить интересующие нас характеристики изоляции.

Квазистационарное электрическое поле в рассматриваемой области  $\vec{r} \in V$  описывается дифференциальным уравнением, в общем случае, с комплексной проводимостью вида [1]:

$$\operatorname{div}\{(\gamma + j\omega\epsilon\epsilon_0) \operatorname{grad} \phi\} = 0, \quad (1)$$

Решение этого уравнения для равноценных изолирующих подвесок с гирлянды фарфоровых изоляторов и полимерного изолятора для тяговых сетей постоянного и переменного токов в предположении равности восприимчивости сравниваемой изоляции к загрязнению и увлажнению позволило получить следующие выводы:

В нормальном режиме работы, в условиях слабых загрязнений и в периоды невысокой влажности атмосферы, стержневые полимерные изоляторы значительно слабее подвергаются электрическим воздействиям по сравнению с гирляндами из тарельчатых фарфоровых изоляторов, что обусловлено только лишь их конструктивными особенностями.

В условиях загрязненности изоляции, характеризующей удельной поверхностной проводимостью  $\gamma_3 \geq 1 \times 10^{-10} \text{ См}$ , оценку токов утечки можно осуществлять по коэффициентам формы изоляторов.

В рассматриваемых условиях в контактной сети замена фарфоровых изоляторов эквивалентными полимерными приведет к снижению токов утечки через изолирующие подвески в три и более раза.

В действительности, как подтверждает опыт работы, полимерные изоляторы вследствие высокой гидрофобности при одинаковых внешних условиях значительно менее загрязняются, поэтому реальные токи утечки по полимерным изоляторам окажется значительно меньше, чем прогнозировано в данной работе.

### **Аккумуляция энергии рекуперации транспортных систем с помощью емкостных энергонакопителей**

Колб А.А. (Национальный горный университет, г. Днепропетровск)

В условиях дефицита электроэнергии и повышения ее стоимости все более актуальной становится проблема энергосбережения на транспортных системах (карьерный и городской электротранспорт, метро и др.) в силу особенности режимов их работы: частые пуски и остановки; замедления в соответствии с состоянием путей и др.

Электроподвижной состав характеризуется, как правило, крайне неравномерным графиком потребления электроэнергии. Движение транспортного средства характеризуется тремя режимами: тяга – ускорение и равномерное движение; выбег – свободное движение по инерции; торможение – снижение скорости вплоть до остановки. Потребление энергии особенно значительно в периоды разгона, менее значительны в периоды равномерного движения и отсутствуют в период торможения. Вследствие этого тяговые подстанции (ТП) непрерывно испытывают значительные колебания нагрузки. При пиковых нагрузках, возникающих при наложении пусковых токов нескольких тяговых средств, снижается на-



пряжение на шинах ТП. Это замедляет процессы пусков транспортных средств и приводит к дополнительным потерям электроэнергии в системе тягового электроснабжения. В силу этого увеличивается установленная мощность силового оборудования ТП, необходимая для компенсации пиковых нагрузок. Запасенная во время движения тяговых средств кинетическая энергия движущихся масс в настоящее время не рекуперируется в сеть в процессе торможения, а выделяется в виде тепла в тормозных резисторах. На протяжении многих лет не удавалось решить проблему аккумулирования и повторного использования энергии рекуперативного торможения ввиду отсутствия надежных и экономичных накопителей энергии.

Освоение промышленностью мощных молекулярных накопителей электроэнергии позволяет решить проблему аккумулирования энергии рекуперативного торможения транспортных систем и повторно ее использовать для тяги. Это позволяет существенно снизить также нагрузку на ТП и повысить экономичность транспорта.

В настоящее время наиболее целесообразным является установка стационарных емкостных накопителей электроэнергии, например на ТП.

Основными элементами системы аккумулирования энергии рекуперации и ее повторного использования являются:

- батарея накопительных конденсаторов;
- преобразователь постоянного напряжения в постоянное для связи конденсаторных батарей с шинами ТП;
- система датчиков контроля токов и напряжения;
- система регулирования, формирующая сигналы управления работой энергонакопительной системы.

При установке конденсаторных накопителей электроэнергии на тяговой подстанции их подключение к шинам ТП, а через них к тяговому средству в режиме рекуперации, осуществляется автоматически при достижении на шинах ТП уровня напряжения, несколько более высокого, чем максимальное выпрямленное. Возврат энергии, запасенной в конденсаторных батареях, происходит при снижении напряжения на шинах ТП ниже определенного уровня.

### **Непроизводительные потери электроэнергии – определяющий показатель эффективности тягового электропотребления**

Костин Н.А. (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина)

В настоящее время электрифицированные железные дороги Украины оплачивают только за потребленные активную и реактивную электроэнергию, а в научных исследованиях эффективность тягового электропотребления оценивают только по критерию минимума потребленной и стоимости активной электроэнергии. И совершенно без внимания, даже в виде обычного отчетного показателя, остаются технологические (технические) потери электроэнергии, что, по нашему мнению и основам современной промышленной энергетики является ошибочным. В новых экономических условиях, в связи с ограниченностью энергоресурсов в Украине, с экономической точки зрения наиболее определяющим показателем эффективности тягового электропотребления являются технологические потери электроэнергии. Последние составляют большой процент от общих потерь и характеризуют не только техническую сторону транспортирования электроэнергии, но и качество организации и контроля процесса электроснабжения. Например, согласно статистическим данным, эти потери в общепромышленных сетях составляют 12...25%.



Все технологические потери следует разделять на производительные (основные) и непроизводительные (дополнительные). Непроизводительные потери связаны с неактивными составляющими полной мощности, включающими в себя мощности: реактивную (в классическом понимании), искажения и несимметрии. Непроизводительные потери должны быть снижены до минимума, а для этого они должны определяться расчетами, так как для их непосредственных измерений приборов не существует, а определение по разности показаний счетчиков электроэнергии приводит к значительным ошибкам. Методика оценки дополнительных потерь в цепях несинусоидального тока предполагает следующие основные этапы: непрерывная временная суточная (в силу суточной периодичности графика движения поездов) запись случайных функций напряжений и токов на входе и выходе тяговых подстанций, на отдельных фидерах и электроподвижном составе; вероятностно-статистическая обработка реализаций напряжений и токов; корреляционно-спектральный анализ реализаций случайных процессов напряжений и токов; оценка составляющих полной мощности, коэффициента мощности и коэффициента реактивной мощности; определение полных и непроизводительных потерь электроэнергии; разработка организационно-технических мероприятий по уменьшению непроизводительных потерь до минимума.

В докладе также приведены численные значения дополнительных потерь электроэнергии на некоторых участках Приднепровской железной дороги с эксплуатацией электропоездов постоянного тока ВЛ 8 и ДЭ 1.

### **Исследования характеристик подвесных тарельчатых фарфоровых изоляторов контактной сети**

Кочунов Ю.А. (УрГУПС, Екатеринбург, Россия)

Исходя из статистики отказов контактной сети постоянного тока, на примере Свердловской ж.д. и по данным Департамента электрификации ОАО «РЖД» отказ изоляторов в среднем составляет 10-17% от общего числа отказов, что является достаточно большим значением.

При осмотре изоляторов проверяют отсутствие повреждений изоляционных деталей, следов оплавления или перекрытия электрической дугой; наличие и правильность установки замков.

Перед нами встал вопрос, как изменяются характеристики изоляторов в зависимости от вида повреждений. Мы провели исследования фарфоровых изоляторов типа ПТФ – 3,3/5, на два исправных изолятора соединенных параллельно в гирлянду, два изолятора один поврежден (снят участок эмали), один исправный изолятор, при помощи генератора сигналов специальной формы GFG – 3015, со снятием сигналов осциллографом Tektronix EDS1002.

Исследования показали, что характер, амплитуда, импульса зависимость от полярности подачи сигнала (на шапку или на пестик изолятора), уровень напряжения изменяется от количества изоляторов в гирлянде и вида повреждения. У двух исправных изоляторов амплитуда напряжения составляет 114 mV, у двух изоляторов один поврежден (снят участок эмали) 116 mV, у одного исправного изолятора 178 mV.

Так же были проведены испытания фарфоровых изоляторов типа ПТФ – 3,3/5 с добавлением в измерительную цепь индуктивности в виде гибкого провода. На два изолятора один поврежден (снят участок эмали) соединенных параллельно в гирлянду, один исправный изолятор, один поврежден (скол), при помощи тех же измерительных приборов.

Исследования показали, что количество изоляторов в гирлянде и вид повреждения влияют на характер, фронт импульса.



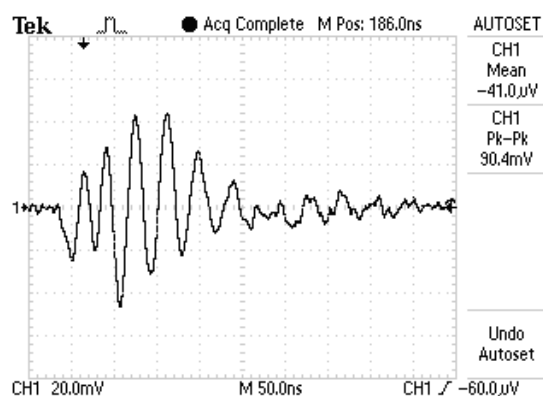


Рис. 1. Частота 25 кГц, импульс двух исправных изоляторов типа ПТФ – 3,3/5

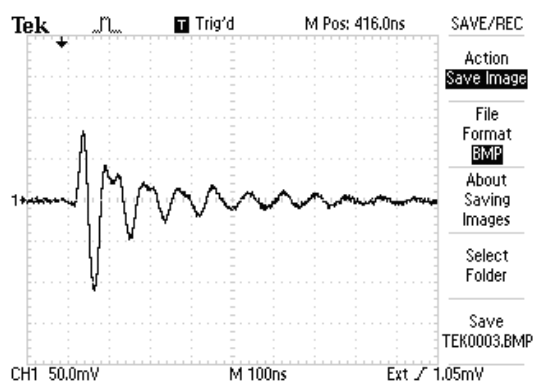


Рис. 2. Частота 25 кГц, импульс одного исправного изолятора

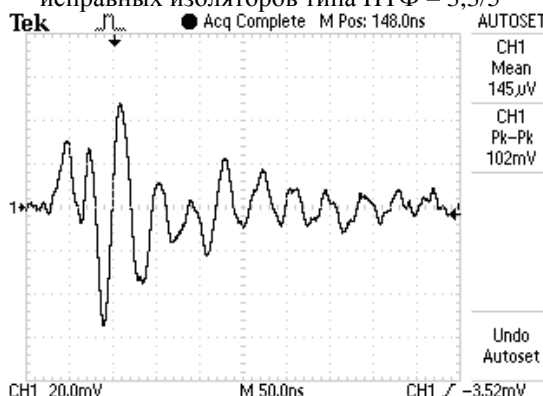


Рис. 3. Частота 25 кГц, импульс одного изолятора типа ПТФ – 3,3/5(снята эмаль)

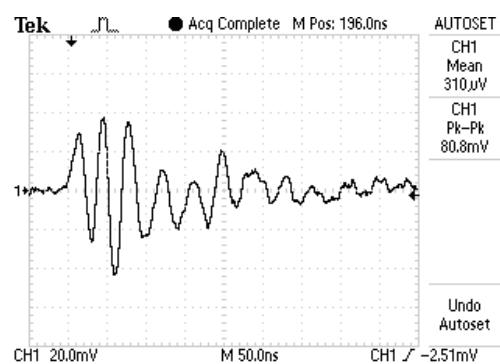


Рис. 4. Частота 25 кГц, импульс одного изолятора типа П – 49(скол)

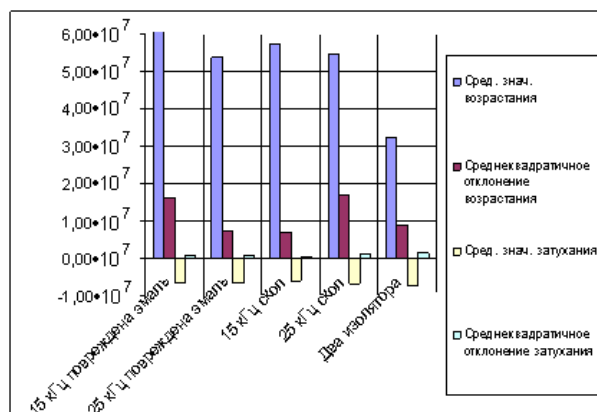


Диаграмма 1. Средние значения нарастания и затухания импульсов

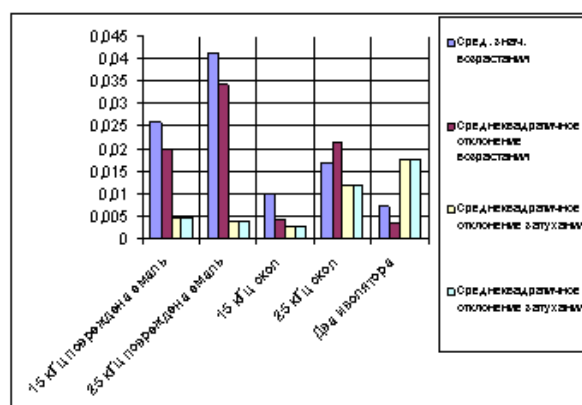


Диаграмма 2. Начальное значение амплитуды нарастания и затухания импульсов

Выводы по проведенной работе:

- 1) амплитуда напряжения зависит от количества изоляторов в гирлянде и характера повреждения изолятора;
- 2) амплитуда напряжения зависит от внутреннего сопротивления изоляторов (подача сигнала на пестик или шапку);
- 3) амплитуда импульса зависит от индуктивности измерительных проводников;
- 4) амплитуда импульса зависит от сопротивления цепи;
- 5) снимаемая частота зависит то полярности измерительных проводников;



- б) количество и вид мешающих гармоник зависит от внутреннего сопротивления измерительных приборов (увеличить сопротивление можно при помощи специального переходника «терминатора») и применение экранированных проводов;
- 7) вид импульса зависит от индуктивности цепи.

### **Симметрирование нагрузок тяговых подстанций переменного тока**

Крячко А. Г. (ДМК)

Симметрирование однофазных тяговых нагрузок является актуальным направлением совершенствования системы электроснабжения переменного тока промышленной частоты, позволяющим снизить тарифные надбавки за качество электроэнергии и уменьшить потери в распределительных и тяговых сетях.

Для получения симметрирующего эффекта без применения реактивных элементов предложены различные схемы трансформаторов, осуществляющих преобразование трёхфазной симметричной системы напряжений в симметричную двухфазную (эффект Скотта).

В зависимости от условий эксплуатации конкретной тяговой подстанции может оказаться целесообразным как установка нового трансформатора с первичным напряжением 110-220 кВ, так и сохранение его в работе. Дополнительным требованием при модернизации действующих подстанций является обеспечение их параллельной работы по фидерным зонам при поэтапном вводе в эксплуатацию симметрирующих трансформаторов.

Минимизация первоначальных и эксплуатационных затрат для обеспечения параллельной работы симметрирующих трансформаторов с типовыми трёхфазными должна учитываться при выборе схем симметрирования.

### **Підвищення енергетичної ефективності електротранспорту шляхом удосконалення процесу перевезень**

Кузнецов В.Г., Калашников.К.О. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в різних галузях нашої країни у три рази нижче ніж в промислово розвинутих країнах Західної Європи та США. Потенціал енергозбереження в економіці, на транспорті, в соціальній сфері України оцінюється на рівні 42 – 48% від обсягу споживання ПЕР. Разом з тим, власне виробництво ПЕР в країні не перевищує 50%. Основою енергетичної політики залізничного транспорту України являється стимулювання енергозбереження і підвищення ефективності споживання енергії.

Енергетична політика, що проводиться Мінтрансом України, орієнтована на стабілізацію та зниження питомих витрат, на введення в дію нових систем управління процесом перевезень, стандартів і сертифікатів на енергообладнання, на вирівнювання навантажень тягових підстанцій з метою економії електроенергії та зниження втрат в електротягових мережах і мережах енергосистем, на перехід до диференційованих тарифів по часовим зонам доби, що передбачає впровадження автоматичних систем аналізу та регулювання електроспоживання, потребує зміни підходів до організації руху поїздів з урахуванням необхідності оптимізації електроспоживання.

Існуючий дефіцит потужності, зростання вартості електроенергії, малі темпи будівництва нових електрифікованих ліній збільшують актуальність цієї проблеми. Автори докла-



ду вважають, що можна виділити такі основні напрями вирішення задачі економії енергоресурсів на тягу поїздів за рахунок удосконалення процесу перевезень:

- оптимізація графіку руху поїздів;
- оптимізація плану формування поїздів;
- застосування раціональних режимів ведення поїздів при заданому графіком руху часу ходу.

Цією проблемою займалися на кафедрі ЕПЗ Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна. За даною тематикою захищено 2 кандидатські дисертації Земляновим В.Б. та Цейтліним С.Ю. Але приведені наукові роботи не торкались потенціалу енергозбереження за рахунок вдосконалення процесу перевезень. Можливість розрахунків за електроенергію по диференційованих тарифах висунули на порядок денний ряд нових задач та можливостей. Авторами доповіді запропоновано підходи до удосконалення керування транспортним процесом перевезень, а саме - раціоналізація руху поїздів на ділянці за рахунок внесення змін до графіку руху поїздів (ГРП) та плану формування поїздів (ПФП). В цьому аспекті треба розглянути їх взаємозв'язок з диференційованими тарифами оплати за електроенергію. Нехай  $C_j(k)(t)$  - коефіцієнт відносної вартості електроенергії за тарифом "к" на інтервалі доби (t) тарифної зони "j", який змінюється протягом доби. На думку авторів необхідно віднести максимальний транспортний потік до коефіцієнту  $C_j(k)(t)$  таким чином, щоби мінімізувати прогнозовану сумарну вартість електроенергії на тягу поїздів.

У вдосконаленні ГРП є доцільним планування беззупинкового пропуску великогазових, довгосоставних та здвоєних поїздів. Необхідно розглянути питання перевитрат електроенергії при зрушенні таких поїздів з міста та їх розгін до встановленої швидкості після зупинок, які передбачені ГРП. У вдосконаленні ПФП є цілком доцільним формування великогазових, довгосоставних та здвоєних поїздів згідно з ГРП, який орієнтований на диференційовані тарифи. Для збільшення енергетичної ефективності електротранспорту треба також звернути увагу на вдосконалення ведення вищевказаних вантажних поїздів з електричною тягою.

### **Розрахунок системи тягового електропостачання із застосуванням теорії потоків відновлення**

Кузнецов В.Г. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Одним із шляхів енергозбереження в системі тягового електропостачання є вибір оптимальних положень перемикачів відгалужень силових трансформаторів тягових підстанцій постійного струму. Для вирішення цієї задачі може бути використаний апарат динамічного програмування. Даний метод вимагає виконання багатократних розрахунків системи електропостачання ділянки, що оптимізується, при різних комбінаціях положень перемикачів відгалужень трансформаторів. При цьому розрахунок параметрів системи електропостачання має бути виконаний з достатньою для оптимізації точністю. Традиційні методи розрахунку з різних причин не можуть бути використані для вирішення поставленого завдання. Тому автором доповіді запропонована спеціальна методика для розрахунку системи електропостачання, що базується на представленні потоку поїздів потоком відновлення.

Найбільш зручною характеристикою, що визначає потік поїздів як потік випадкових подій, є щільність розподілу міжпоїздового інтервалу, оскільки легко може бути визначена експериментальною дорогою. Підбору найбільш відповідного теоретичного закону, що описує вказану щільність, було приділено багато уваги в сучасних методах розрахунку



системи електропостачання, оскільки від цього залежить точність результатів при визначенні параметрів системи.

Співробітниками кафедри електропостачання залізниць ДІПТу проводились експериментальні спостереження на дільниці НД-Вузол – Чапліно. За експериментальними даними виявилось, що найбільше для опису потоку поїздів підходить логарифмічно нормальний закон розподілу:

Автором доповіді запропоновані дві імовірнісні математичні моделі, що описують потік поїздів. Багатопараметрична модель дозволила істотно підвищити точність розрахунків. Модель була отримана за допомогою апарату множинного аналізу шляхом регресійного дослідження реальних потоків поїздів різної щільності з різними інтервалами, а також різних за типом поїздів. Множинний коефіцієнт кореляції запропонованої моделі склав 0,992, що говорить про її високу якість. Найбільш істотною змінною виявилась середньодобова кількість поїздів (F-критерій має найбільше значення).

За допомогою теорії випадкових процесів, одержано аналітичні вирази для розрахунку ймовірності появи К- поїздових ситуацій на заданій ділянці залізниці. Дану ймовірність можна використовувати для розрахунку викидів навантажень та їх імовірностей.

### **Совершенствование методики расчета электрических полей в сложносоставных изоляционных конструкциях силового электромашинного оборудования**

Кузьминых И. А. (Уральский государственный университет путей сообщения, Россия)

По количеству случаев порч и неисправностей оборудования тягового подвижного состава одно из ведущих мест занимают пробой изоляционных конструкций. Данная проблема особенно актуальна для тяговых электродвигателей локомотивов. Ее решение лежит в области снижения абсолютных и удельных потенциальных нагрузок на составляющие элементы изоляционных систем.

Среди последних разработок в этом направлении заслуживают внимания работы УрГУПС по расчету временной функции поведения параметров электрического поля в средах с нерегулярными свойствами.

В тоже время существует и другая сторона вопроса – нахождение пространственного распределения вектора напряженности электрического поля. Постановка и решение задачи в такой форме не менее важны, поскольку реальная конструкция паза якоря тягового двигателя предполагает наличие локальных мест с повышенными значениями напряженности в зависимости от конфигурации электродов и структурного состава изоляции.

Анализ существующих методов расчета полей показал, что при наличии высокопроизводительной вычислительной техники наиболее эффективным может быть один из методов приближенно-численного расчета, например, метод конечных разностей, позволяющий рассчитывать пространственную картину поля для электродов произвольной конфигурации с заданной точностью.

На основании данного метода для слоистой структуры изоляции тягового двигателя был составлен алгоритм расчета электрического поля в пазовой области обмотки якоря.

Разработанный алгоритм лег в основу создания расчетной программы, позволяющей исследовать закономерности распределения потенциала и напряженности поля по слоевым составляющим якорной изоляции с учетом пространственной конфигурации пазового электрода.

С помощью разработанной программы был произведен расчет пространственного распределения электрического поля в изоляционной конструкции двигателя ТЛ-2К1.

По полученным результатам расчетов электрического потенциала и напряженности можно судить о том, что максимально нагруженной является межвитковая изоляция (око-



ло 4,5 кВ/мм), по уровню пробивной прочности не предназначенная для восприятия таких нагрузок. В тоже время корпусная изоляция загружена в значительно меньшей степени, хотя именно на нее должна приходиться большая часть приложенного напряжения.

Кроме того наблюдаются локальные повышения (примерно в 2,5–3 раза) значения напряженности электрического поля в угловых областях паза якоря. Расчет в воздушных включениях в области изгиба (поворота) изоляционных слоев показал, что предел пробивной прочности воздуха находится ниже его фактической потенциальной нагруженности, из чего можно заключить, что даже при рабочих напряжениях в данных областях возможно возникновение частичных разрядов.

Таким образом, в современных изоляционных структурах ТЭД наблюдается несоответствие уровней потенциальных нагрузок изоляционных слоев их функциональному назначению.

В дальнейшем предполагается расширить функциональные возможности разработанной программы для расчета не только пространственной, но и временной функции поведения электрического поля в неоднородных средах.

### **Напряжки досліджень по удосконаленню залізобетонних опор контактної мережі електрифікованих залізниць**

Сиченко В. Г., Кучмій О. С. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Залізобетонна опора контактної мережі є специфічною будівельною конструкцією, яка працює у важких умовах під дією різноманітних впливаючих чинників. Діючими на сьогодні в Україні нормативними документами встановлюється нормативний термін служби 70 років. Цей термін є розрахунковим і повинен досягатися за рахунок застосування підсиленого за рахунок застосування підсиленого металічного каркасу з арматури та проволони, важкого бетону та застосуванням поверхневої гідроізоляції. Слід зазначити, що як і раніше, для гідроізоляції робочою документацією українських виробників передбачається застосування бітумної мастики, хоч з експлуатаційної практики відомо про її низьку ефективність.

Кафедрою електропостачання ДПТУ проводяться роботи, направлені на підвищення корозійної стійкості залізобетонних опор контактної мережі. Тривалий час, та й на сьогодні також, превалюючою була думка, що основою пошкодження залізобетонних опор була електрокорозія. Фахівцями галузі була велика робота по вивченню механізмів корозії та захисту від неї.

В той же час необхідно зазначити, що, окрім струмів стікання, на опору впливають і фактори іншого характеру, а саме, хімічного характеру. Звідси, процес руйнування опори носить електрохімічний характер, тобто є комплексним і при дослідженні корозійних процесів необхідно враховувати також взаємодію пар: «бетон-арматура», «бетон-земля», «арматура-земля». Звідси впливає необхідність доповнення існуючої концепції корозії залізобетонних опор.

В рамках виконуваних на кафедрі електропостачання досліджень роботи ведуться в наступних напрямках:

- удосконалення діагностування залізобетонних опор;
- удосконалення гідрофобного та атмосферного захисту залізобетонних опор;
- розробка заходів по підвищенню корозійної стійкості залізобетонних опор;
- вивчення механізмів взаємодії впливаючих на стійкість опори факторів та створення моделі таких впливів;



- дослідження та розробка методик вимірювання поверхневого та об'ємного опорів залізобетонних опор;
  - розробка математичної моделі залізобетонних опор, як електротехнічного пристрою;
  - дослідження взаємозв'язку корозійних пошкоджень залізобетонних опор в залежності від потенціальної картини рейкової мережі.
- В докладі викладені вище напрямки робіт розглядаються більш детально.

### **Метод імовірнісного аналізу електромагнітних процесів у тяговій мережі.**

Міщенко Т.М. (Дніпропетровський національний технічний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Тягова мережа разом з електрорухомим складом є суттєво нелінійною динамічною системою, до входу якої прикладається одна зовнішня дія – випадкова функція вихідної напруги  $U(t)$  тягової підстанції. Тому розрахунки, як експлуатаційних, так і аварійних електромагнітних процесів у тяговій мережі потрібно виконувати імовірнісним методом, а вихідні шукані величини – струми і напруги (позначимо їх як  $Y_k(t)$ ) – теж будуть випадковими функціями. Точне аналітичне розв'язання цієї задачі можливо лише для систем з відносно простими характеристиками нелінійних елементів. Тому в багатьох практичних задачах пропонується визначати не реалізації шуканих випадкових функцій  $Y_k(t)$ , а їх моментні функції: математичне сподівання  $m_y(t)$ , кореляційну функцію  $K_y(t)$  і функцію дисперсії  $D_y(t)$ . Такий підхід є доцільним, по-перше, тому, що зазначені моменти функції дають достатнє уявлення про шуканий випадковий процес. По-друге, у теорії лінійних імовірнісних систем існують прості перетворення моментних функцій: Якщо випадкова функція  $X(t)$  з математичним сподіванням  $m_x(t)$  і кореляційною функцією  $K_x(t, t')$  перетворюється лінійним оператором  $Z$  у випадкову функцію  $Y(t) = Z[X(t)]$ , то для знаходження математичного сподівання  $m_y(t)$  випадкової функції  $Y(t)$  необхідно застосувати той же оператор  $Z$  до математичного сподівання функції  $X(t)$  (тобто,  $m_y(t) = Z[m_x(t)]$ ), а для знаходження кореляційної функції  $K_y(t, t')$  треба двічі застосувати той же оператор до функції  $K_x(t, t')$ , тобто,  $K_y(t, t') = Z^{(t)} \cdot Z^{(t')} [K_x(t, t')]$ .

Викладене дозволяє запропонувати такий метод імовірнісного аналізу електромагнітних процесів: складаємо і записуємо у формі Коші систему стохастичних нелінійних рівнянь; користуючись методом стохастичної лінеаризації виконуємо лінеаризацію характеристик нелінійних елементів; лінійну систему рівнянь для реалізацій  $X_k(t)$  у формі Коші переписуємо за певним правилом у систему рівнянь для математичних сподівань і дисперсій; цю систему рівнянь розв'язуємо методом послідовних наближень, при цьому процес знаходження функцій  $m_y(t)$ ,  $K_y(t, t')$  і  $D_y(t)$  припиняємо тоді, коли поточні значення зазначених функцій будуть мало відрізнятися від попередньо знайдених значень. Отже, запропонований метод об'єднує в собі відомі з теорії імовірнісного аналізу нелінійних систем автоматичного керування часткові методи: стохастичних диференціальних рівнянь, статистичної лінеаризації та метод моментних функцій.



## Повышение безопасности железобетонных опор

Васильев И. Л., Павличенко М. Е.

(Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия)

Железобетонные центрифугированные нераздельные стойки опор контактной сети постоянного тока обладают существенным недостатком, выражающимся в том, что зона максимальной механической нагрузки и зона наиболее вероятного возникновения коррозии практически совпадают.

В УрГУПС разработана оригинальная конструкция стойки опоры контактной сети, отличающаяся тем, что участок металлической арматуры на стадии производства покрывается веществом с высоким электрическим сопротивлением в обе стороны от условного обреза фундамента на расстояние не менее метра. Более точные расстояния определяются различными факторами и должны пройти экспериментальную проверку. Данное решение позволяет «разнести» в разные стороны участок с максимальной механической нагрузкой и зону наиболее вероятного возникновения коррозии, что позволяет увеличить срок службы опоры, снизить величину тока коррозии (в случае его появления) и исключить хрупкий излом, что повысит безопасность движения.

Испытания различных веществ с высоким электрическим сопротивлением дали несколько неожиданные результаты. Кроме высокого сопротивления, влияющими факторами оказались адгезионные свойства исследуемого вещества и к металлу и к бетону, возможность промышленного применения и технологичность нанесения покрытия и некоторые другие факторы. Проведенные исследования позволили сформулировать ряд требований к веществу покрытия, которое должно исключить коррозию на участке с максимальным изгибающим моментом опоры.

Можно предположить, что максимальная коррозия должна проявляться не на тех участках анодной зоны, где наибольший потенциал «рельс-арматура», а там, где происходит резкое падение этого потенциала, в том числе и в знакопеременных зонах.

При натурных исследованиях опор на участках постоянного тока были сняты зависимости потенциала «рельс - земля» и «арматура опоры - земля» за некоторые периоды времени. Данные измерения показывают, что потенциальная диаграмма не в полной мере отражает процессы, происходящие с опорами. Максимальный ток, стекающий с арматуры опоры в землю, образуется не при максимальном потенциале «рельс-земля», а при резком изменении этого потенциала. С учетом емкостных свойств опоры, её сопротивление зависит от скорости изменения потенциала. Полученные данные позволяют подтвердить расширенную математическую модель железобетонной стойки и предположить, что коррозия должна больше проявляться на участках с горным профилем, в том числе и в знакопеременных зонах, применение тяжеловесного движения будет вызывать повышенную коррозию опор, применение троса группового заземления способствует «пробою» опор, особенно по краям зоны.

Можно предположить, что коррозионные процессы, происходящие в опоре, в большей мере основаны на том, что арматура стойки опоры не имеет своего потенциала, а зависит от потенциалов рельса и контактной подвески и от изменений этих потенциалов.

Анализ процессов, происходящих в железобетонной опоре, проведенный с применением расширенной математической модели, позволяет предложить ряд новых технических решений по защите от коррозии.



## **Контактная подвеска с повышенными эксплуатационными качествами**

Павличенко М. Е.

(Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия)

Большинство существующих и применяемых контактных подвесок имеют ряд недостатков. К ним можно отнести: нестабильность параметров, влияющих на качество токосъема (эластичность, натяжение) по длине анкерного участка, низкая ветроустойчивость, неравномерность износа контактирующих элементов, большое количество жестких точек, включая сопряжения, ограниченность длины анкерного участка.

Эти недостатки определены тем, что в конструкцию подвески заложен принцип компенсации температурных удлинений контактного провода по краям анкерного участка. Именно это решение и обуславливает в большей степени ограничение длины анкерного участка. Из-за реакции наклоненных струн возникает сила, которая влияет на натяжение провода и, следовательно, стрелу провеса. Согласно требованиям ПУТЭКСа изменение натяжений в середине и по краям анкерного участка не должны отличаться более чем на 15%. Повышение скоростей движения ЭПС выдвигает новые требования к качеству токосъема, и это изменение должно уменьшиться до 5%. Но неясны пути выполнения данного требования. Повышать длину струн и конструктивную высоту нельзя из-за уменьшения ветроустойчивости подвески. Уменьшать длину анкерного участка - не самый лучший и экономичный путь, к тому же увеличение числа сопряжений неизбежно вызовет снижение показателей надежности токосъема. Остается один путь – найти такой материал для контактного провода, который бы не реагировал на изменение температуры, или реагировал с минимальным изменением длины подвески. Пока таких материалов не найдено.

В УрГУПСе найдено решение, которое позволяет решить целый ряд вышеперечисленных проблем. Предложено температурное удлинение контактного провода компенсировать не по краям анкерного участка, а в каждом пролете за счет изменения величины зигзага. Данное решение позволяет существенно увеличить длину анкерного участка, что снизит число сопряжений. Отсутствие или резкое уменьшение наклона струн позволяет уменьшить конструктивную высоту подвески. Снижение конструктивной высоты уменьшает механическую нагрузку на опоры и позволит использовать более короткие несущие конструкции, что существенно влияет на стоимость сооружения. Снижение числа сопряжений позволит использовать более легкие стойки с меньшим изгибающим моментом.

При определенных условиях возможно создание подвески без традиционных компенсаторов, при этом отпадает необходимость в средней анкеровке. Данная конструкция позволяет обеспечивать постоянные значения эластичности, стрел провеса и натяжений проводов в каждом пролете анкерного участка и тем самым стабилизировать контактное натяжение, т. е. повысить качество токосъема.

## **Малогабаритний згладжуючий реактор для тягових підстанцій постійного струму**

Петров А.В. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Одним із шляхів підвищення ефективності роботи залізничного транспорту є розробка та впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій і пристроїв; це стосується також систем електричної тяги. Сьогодні на тягових підстанціях постійного струму застосовують громіздкі великогабаритні індуктивні реактори для згладжування вихідної випрямленої напруги. Найбільш розповсюдженим є реактор типу РБФА-У-6500/3000. Останнім часом, коли загострилась боротьба за економію ресурсів та зниження втрат електро-



енергії, активізувались дослідження по розробці реакторів з кращими техніко-економічними показниками; ця робота має таку ж мету.

Основною задачею розробки техніко-економічних реакторів є задача знаходження оптимальних умов при проектуванні котушок індуктивності, з яких складається реактор. Розрахунками в цій роботі встановлено, що котушка з максимальними економічними показниками і максимальною індуктивністю досягається при найбільшому коефіцієнті заповнення  $K_{зан}$  обмоткового простору. Існуючі конструкції реакторів мають низькі значення  $K_{зан}$ , від 0,117 до 0,203. В той же час розрахунки показують, що у випадку збільшення  $K_{зан}$  в 3 рази, витрати матеріалів на котушку зменшуються в  $\sqrt{3}$  разів. Цей фактор і було покладено в основу створення малогабаритних та високоекономічних котушок.

Для досягнення високого значення  $K_{зан}$  насамперед відмовились від бетону (як конструкційного матеріалу) та традиційного виконання котушок круглим проводом і використали проводи прямокутного перерізу із транспозицією ізольованих одна від іншої жил. При проводі прямокутного перерізу котушки можуть бути виконані або дисковими, або циліндричними. Так як реактор в основному проектується на значні струми, а отже, і великі перерізи проводів, то дискові котушки в цьому випадку з технологічних причин є більш доцільними ніж циліндричні. Дискові котушки виконують пучком проводів із втіленням транспозиції у місцях переходу з одного диску в інший. При парній кількості дисків виводи завжди будуть розташовані зовні котушки. При групуванні дисків з голих шин по два транспозиційних з'єднання з внутрішньої сторони дисків виконують ще при намотці котушок. В цьому випадку монтажні з'єднання котушок виконують тільки з їх зовнішньої сторони. При намотці котушок ізольованим проводом транспозицію виконують без перетинання проводів у місцях переходу, як це звичайно робиться в обмотках трансформаторів. Примусове охолодження при дискових котушках виконують подачею повітря до внутрішньої порожнини котушки.

З врахуванням зазначеного було розроблено реактор з вихідними даними:  $K_{зан} = 0,708$ ;  $U_{ном} = 3$  кВ;  $U_{max} = 4$  кВ;  $I_{ном} = 6500$  А;  $L = 5,5$  мГн, охолодження — природне. Отриманий реактор у порівнянні з новітніми розробками, наприклад з реактором РФОСА-6500/5-3, дозволяє зекономити більше 10% матеріалу намотки. Одночасно, економічний ефект при раціональних конструктивних рішеннях, у порівнянні з існуючими на Україні реакторами, може досягати 50% і більше.

### **Покращення використання середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі**

Полях О.М. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. акад. В. Лазаряна, polyah\_1956@email.ru)

На електрифікованому транспорті, який експлуатується на постійному струмі термін експлуатації опор контактної мережі технічними умовами закладено 40 років, після цього терміну експлуатації вона повинна замінюватись на нову. Але з кожним роком число опор, що знаходиться в експлуатації понад 40 років зростає. І тими засобами діагностування, що зараз знаходяться на ЕЧ і ДЕЛ перевірити усі опори неможливо. Експертні центри проводять огляд стану опор, для ухвалення рішення про їх подальшу експлуатацію. Для покращення використання середнього ресурсу системи опор необхідно перш за все визначити технічний стан кожної конкретної опори за допомогою неруйнівних методів діагностування, які дають рекомендації щодо можливості подальшої експлуатації опори. Досвід показує, що серед опор, що прослужили більше 40 років є значна кількість



опор, у яких ресурс не вичерпано. Задачі покращення використання середнього ресурсу системи опор передбачається державною програмою покращення роботи електричного транспорту, яка включає реструктуризацію залізничного транспорту, у тому числі удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту опор контактної мережі в працездатному стані шляхом впровадження експрес-методів діагностування з урахуванням технічного стану опор. Тому, покращення використання середнього ресурсу опор дає значну економію за рахунок збільшення терміну їх експлуатації.

Аналіз методів діагностування опор контактної мережі залізничного транспорту в Україні і за кордоном показує, що вони мають один спільний недолік – значні витрати ресурсів на діагностику однієї опори.

У зв'язку з вище викладеним задача покращення використання середнього ресурсу системи опор контактної мережі електричного транспорту постійного струму шляхом застосування нових методів діагностування і експрес методів діагностування із використанням сучасної техніки є актуальною.

В університеті на кафедрі «Електропостачання залізниць» розроблено новий метод діагностування залізобетонних опор контактної мережі на основі застосування нового діагностичного параметру – розкиду спектру частот з максимальною амплітудою збуреної опори. Метод діагностування відноситься до експрес-методу діагностування за допомогою якого з великої кількості діагностованих опор знаходять опори несправні і вже тільки їх перевіряють більш працездатними методами діагностування для прийняття рішення замінити або залишити в експлуатації конкретну несправну опору. Це дає можливість повністю використати можливість працездатної опори.

Використання засобів експрес контролю і методів технічного діагностування являється одним із основних факторів, що дозволяє покращити використання середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі електрифікованого транспорту постійного струму.

Впровадження засобів технічного діагностування є одним із шляхів переходу на систему експлуатації опор за фактичним станом.

### **Влияние погрешностей высоковольтных измерительных трансформаторов на точность измерения электроэнергии**

Рудевич Н.В.

(Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)

Среди параметров режима электроэнергетических систем значительная часть параметров связана с током и напряжением. К таким параметрам, в частности, относятся активная и реактивная мощность, электроэнергия, которые измеряются практически повсеместно.

При измерении электроэнергии погрешность определяется высоковольтными измерительными трансформаторами тока и напряжения, а также счетчиком электроэнергии. На основании показаний счетчиков электроэнергии осуществляется расчет между поставщиком и покупателем электроэнергии. Внедрение микропроцессорной базы в энергетику позволило создать счетчики электроэнергии класса точности 0,2 и это не предел. Дальнейшее повышение точности счетчиков не целесообразно через доминирующие погрешности высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения, которые в лучшем случае сегодня работают в классе точности 0,5. Высоковольтные измерительные трансформаторы, как правило, имеют систематическую отрицательную погрешность, из чего следует, что энергогенерирующие и энергоснабжающие компании несут убытки через расчет покупателей электроэнергии по заниженным показаниям.



Расчеты показывают, что при работе высоковольтных измерительных трансформаторов при граничных допустимых погрешностях в классе точности 0,5, относительная погрешность измерения электроэнергии, обусловленная только трансформаторами, может достигать 2 % при  $0,05I_{1ном}$ ,  $1,2U_{1ном}$ ,  $\cos\varphi=1$  и будет увеличиваться с уменьшением  $\cos\varphi$ .

Уменьшение погрешностей измерения электроэнергии, которые обусловлены высоковольтными измерительными трансформаторами, возможно в случае присоединения к их вторичным цепям компенсирующих устройств, что позволит повысить точность преобразования тока и напряжения как минимум в 5 раз.

### Розробка моделі швидкодіючого вимикача.

Рябокін Б.А., Зубенко В.А., Сиченко В.Г. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Дослідження електромагнітних процесів, які відбуваються в тяговій мережі постійного струму при різних режимах її роботи, вимагає створення математичних моделей її складових.

Для комп'ютерного моделювання процесів відключення (в першу чергу, процесів короткого замикання) необхідно знати параметри кола, в якому працює швидкодіючий вимикач. Схема заміщення тягової мережі постійного струму зображена на рис. 1.

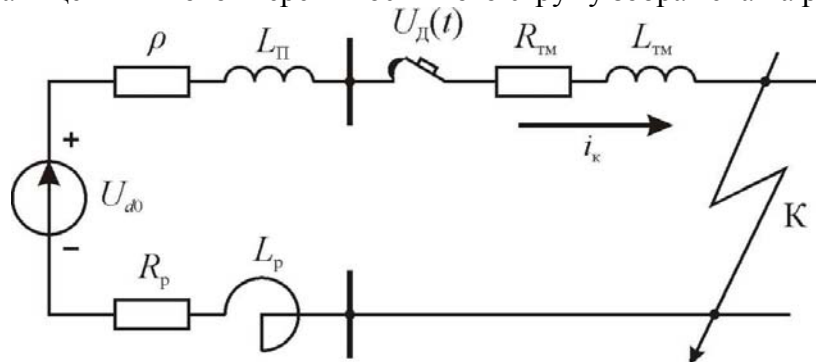


Рис. 1

Для проведення комп'ютерного моделювання необхідно знати реальні параметри досліджуваного кола, а саме: сумарний опір  $R_{\Sigma}$  і сумарну індуктивність  $L_{\Sigma}$  кола з коротким замиканням у розрахунковій схемі заміщення відключаемого кола (рисунк 4.6), що еквівалентне наведеному на рис. 1, де:  $R_{\Sigma} = \rho + R_{tm} + R_p$ ;  $L_{\Sigma} = L_{\pi} + L_{tm} + L_p$ .

Рівняння Кірхгофа для напруг для еквівалентного кола (рис. 1), має вигляд:

$$U_{d0} = U_d(t) + i_k R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{di_k}{dt}$$

Моделювання проводилось у програмному середовищі Simulink системи MATLAB. Для побудови в середовищі Simulink розрахункової схеми та моделі швидкодіючого вимикача використовувались функціональні блоки, що знаходяться в бібліотеках Simulink. Моделювання здійснювалось для найбільш поширених моделей швидкодіючих вимикачів. В докладі подається детальний опис умов, режимів та результатів моделювання. Результати комп'ютерного моделювання відмикання струму короткого замикання на виводах тягової підстанції вимикачем GERapid (уставка вимикача 3000 А, без навантаження) представлені в якості прикладу на рис. 2.



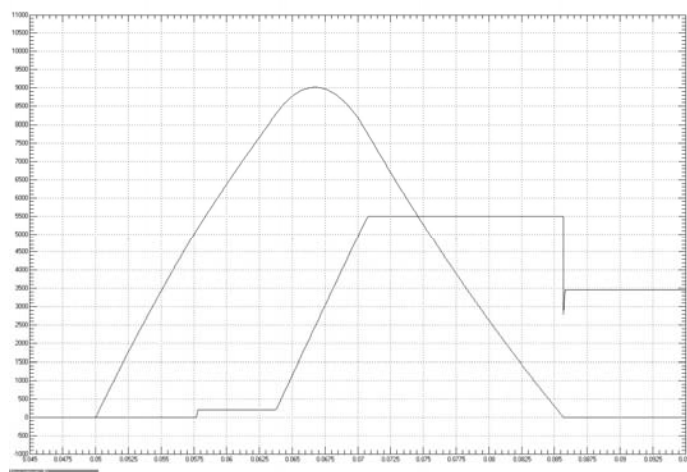


Рис. 2.

### Дослідження взаємодії струмоприймача та контактної мережі

Сиченко В.Г., Мандич В.Г., Клак О.М., Михайлов О.В., Маркевич О.Г., Пилипишин Р.М., Селіванов О.І. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Впровадження швидкісного руху, необхідність економії енергоресурсів та дотримання екологічних вимог потребує застосування на залізничному транспорті нових технологій та матеріалів. У системі тягового електропостачання в першу чергу необхідно відзначити необхідність забезпечення якісного струмознімання при збільшенні передаваної потужності.

Проблеми взаємодії між струмоприймачем і контактною підвіскою існує не тільки в Україні але і в інших країнах світу. При русі електровоза між струмоприймачем та контактним проводом відбувається складний електромеханічний процес. При цьому зношується як контактний дріт так і вставки струмоприймача. Існують і інші шкідливі та небезпечні фактори які виникають при взаємодії струмоприймача та контактної підвіски.

Для дослідження цих факторів потрібно затратити багато часу та немало коштів та необхідно закупати спеціальні вагони лабораторії і дороге обладнання. Для проведення експериментальних досліджень у лабораторії «Контактної мережі та струмознімання» ДНУЗТу монтується установка для дослідження процесу струмознімання в умовах, максимально наближених до реальних - при швидкості в ковзному контакті до 70 м/с (250 км/год); швидкості повітряного потоку, що нагнітається в зону контакту, до 100 м/с (360 км/год); навантажувальному струмі до 2000 А. При цьому імітуються стріли прогину і зигзаги контактного проводу, коливання екіпажа, ударні взаємодії в системі «струмоприймач - контактна мережа».



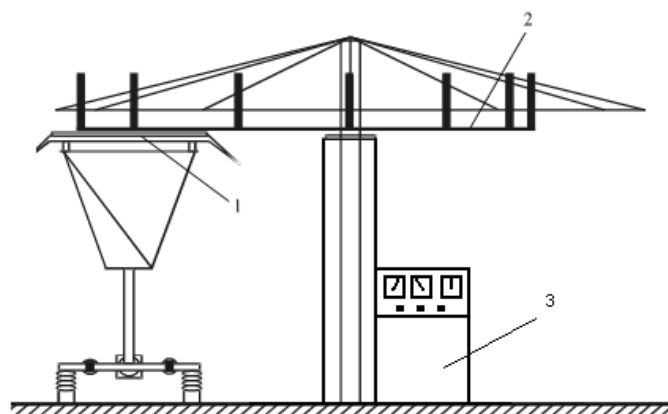


Схема лабораторної установки:  
1 - струмоприймач, 2 - імітатор контактної мережі,  
3 - пульт керування

Розробка універсального експериментального комплексу дозволить виконувати порівняльні випробування різноманітних струмоз'ємних матеріалів, дослідження рівнів шуму, радіоперешкод, електромагнітних полів, генерованих струмоприймачем; вести оцінку інтенсивності і характеру виносу продуктів зношування струмознімних елементів із зони ковзного контакту; проводити аналіз оптичних параметрів іскріння і утворення дуги.

Створення цього унікального комплексу проводиться у творчій співпраці з колективом кафедри електропостачання залізниць ОмГУПС (м. Омськ), яку очолює проф. Сидоров О.О.

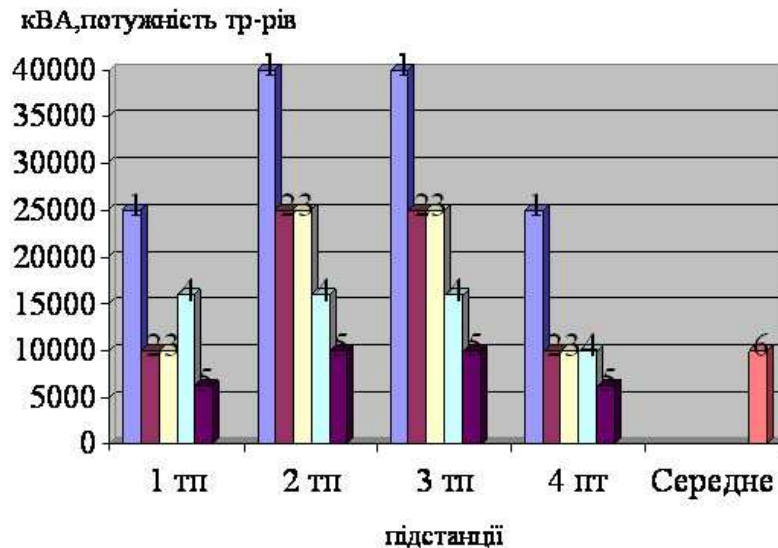
### **Перспективні напрямки розвитку систем тягового електропостачання постійного струму**

Сиченко В. Г., Сисоєва М. С. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

На сьогоднішній день в Україні застосовуються дві системи електричної тяги: постійного струму 3 кВ і змінного струму 25 кВ. Вважається, що система електричної тяги змінного струму більш перспективна через підвищену енергоефективність. В якості найкращого прикладу в підтвердження цієї тези приводиться переведення з постійного струму на змінний дільниці Зима-Слюдянка. В той же час з аналізу публікацій фахівців галузі можна стверджувати, що задекларовані переваги змінного струму не такі й вже незаперечні, а в деяких випадках показники функціонування систем постійного струму 3 кВ і змінного струму 25 кВ є співставними. Звідси, робити висновок про подальший розвиток тягового електропостачання тільки в напрямку впровадження системи змінного струму без детальних та глибоких науково-технічних та економічних досліджень необгрунтовано та недоцільно.

Сучасні умови вимагають розробки нової енергетичної політики в господарстві тягового електропостачання та механізмів її реалізації, в тому числі і через впровадження нових технологій. В рамках виконуваних на кафедрі електропостачання залізниць ДПТУ робіт було проведено попередній порівняльний аналіз існуючих систем електричної тяги з перспективними системами постійного струму підвищеної напруги. На першому етапі аналіз виконувався за цілої низки припущень, оскільки фактично відсутні дані про обладнання підвищеної напруги постійного струму. Розрахунки велись для п'яти типів систем електропостачання: 27,5 кВ змінного струму; 6,6 та 13,2 кВ постійного струму в повздовжній лінії; 6,6 та 13,2 кВ в контактній мережі. В якості прикладу на рисунку наведені результати аналізу по потужності трансформаторів.





1-система 27,5 кВ змінного струму; 2-система, при якій контактна мережа живиться через перетворюючий агрегат від повздовжньої лінії напругою 6,6 кВ; 3-система, при якій контактна мережа живиться через перетворюючий агрегат від повздовжньої лінії напругою 13,2 кВ; 4-система 6,6 кВ в контактній мережі; 5- система 13,2 кВ в контактній мережі; 6-середнє значення для всіх розрахункових підстанцій системи 3,3 кВ.

В докладі приводяться результати розрахунків по всім основним енергетичним показникам. В результаті аналізу цих показників можна стверджувати про співставність за основними показниками системи постійного струму 13,2 кВ і системи змінного струму 25 кВ. А звідси законмірно слідує висновок, що створення систем постійного струму підвищеної напруги 18 і 24 кВ має беззаперечні переваги і їх впровадження повинне стати основою подальшого розвитку тягового електропостачання електрифікованих залізниць.

### Моделювання схемних рішень активних фільтрів тягових підстанцій постійного струму

Словак О.Д., Зубенко В.А. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна)

Переваги використання активних фільтрів замість пасивних розглядалися неодноразово. Однак на відміну від пасивних, активні фільтри являють собою набагато складніші системи і потребують більш досконалого підходу у проектуванні та випробуванні. Розрахунок пасивних фільтрів в основному складається із знаходження номіналів конденсаторів та індуктивностей у ланцюгах, підбору комплектуючих з номінального ряду та економічне обґрунтування вибраної конфігурації. У разі виникнення потреби використання активного фільтру недостатньо виконання лише розрахунку параметрів, що відповідають за компенсацію гармонік, також потрібні фактичні дані працездатності даної схеми у реальних умовах. Метод з використанням технологічних випробувань не можливий без створення дослідного зразка, що саме по собі вимагає значних капітальних витрат, а в разі виходу зразка з ладу додаткових, що найбільш негативно при аварії на початковій стадії випробувань. При цьому часто буває важко визначити причину виходу зразка з ладу, і кошти витрачені на виробництво дослідного зразка не приносять ніякої користі.

Використання моделювання реальних режимів роботи за допомогою ПЕОМ дозволяє перестраховуватись і не допустити марної трати ресурсів насамперед на початковому етапі випробувань. Звичайно застосування професійного обладнання та програмного забезпечення також вимагає значних витрат, але ці витрати не можна порівняти з перевагами насамперед у часі та зручності випробувань.



Для розгляду були обрані дві схеми силових активних фільтрів паралельно-паралельного (Рис. 1) та паралельно-послідовного (Рис. 2) типу. Для них були розраховані оптимальні значення параметрів елементів та створені моделі в системі Matlab + Simulink. При моделюванні процесів компенсації була перевірена дієздатність схем та оцінена якість компенсації в стаціонарних та перехідних режимах роботи системи живлення тягової мережі. Як перехідні були вибрані режими короткого замикання на шинах підстанції, ввімкнення фільтра на напругу та подача напруги на шини підстанції при працюючому фільтрі. На рис. 3 показаний момент ввімкнення фільтра. По зміні форми кривої напруги на споживачі можна судити про його дієздатність.

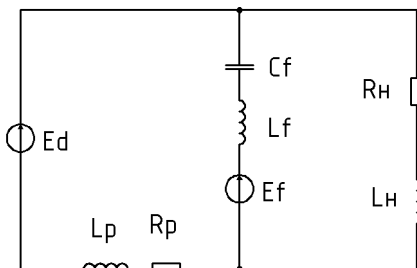


Рис. 1.

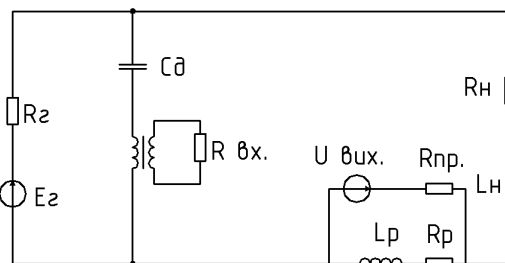


Рис. 2.

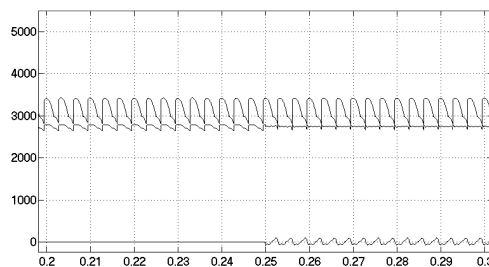


Рис. 3.

Математичне моделювання роботи електротехнічних пристроїв є дієвим методом прискорення їх розробки та скорочення періоду технологічних випробувань.

Сучасні системи математичного моделювання дозволяють із задовільною точністю відобразити роботу пристрою у будь-якому режимі його роботи.

### Оборудование для исследований электрохимических процессов на металлах

Татарченко Г. О., Черкас К.В.

(Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. Владимира Даля, г. Северодонецк)

Проведен анализ современного оборудования применяемого для исследования электрохимических процессов протекающих на поверхности металла. Определены достоинства и пути совершенствования автоматизированных систем измерения электрохимических параметров.

Цель исследований: построение автоматизированного компьютеризированного комплекса для изучения электрохимических процессов, протекающих на поверхности металла и представления полученных данных в графическом и цифровом виде.

Средства исследований: аналогово-цифровые и цифро-аналоговые модули ввода, предназначенные для построения распределенных систем сбора данных типа WAD-BUS, интегрированная среда разработки TRACE MODE для подключения внешних модулей и автоматизации процесса управления, стабилизированные источники тока и потенциала.

Методы исследований: метрологические исследования точности и погрешности каналов измерения, математическая и статистическая обработка полученных электрохимических



ких данных, графическая обработка и представление поляризационных и гальваностатических данных в полулогарифмических координатах.

Авторами предложен автоматизированный компьютеризированный комплекс, предназначенный для исследования электрохимических процессов протекающих на поверхности металла и представления экспериментальных данных в обработанном цифровом и графическом виде. При этом, в отличие от других аналогов в данном комплексе реализована и автоматизирована функция переключения пределов измерения, что позволяет в широком диапазоне измерений поляризующего тока (от 1мкА до 1,25А) получать экспериментальные данные с точностью не хуже 0,07% на пределах измерения до 100мА и 0,15% на пределе измерения до 2А. Приведенная основная погрешность в режиме формирования потенциала в диапазоне  $\pm 10\text{В}$  не хуже 0,05%, в режиме формирования тока в диапазоне  $\pm 1,25\text{А}$  не более 0,1%.

В предлагаемом комплексе реализована функция «автолаборанта», которая позволяет на стадии подготовки эксперимента при регистрации поляризационной кривой внести в базу данных все необходимые данные (площадь электрода, вид электрода сравнения, скорость развертки потенциала или тока, пределы заданий и измерений соответствующих параметров). После проведения эксперимента можно получить данные прямых измерений тока и потенциала, а также обработанные данные – плотность поляризующего тока, измеренный потенциал относительно нормального водородного электрода и др. промежуточные вычисления. Математический и графический аппарат комплекса позволяет в реальном времени наблюдать автолабораторные результаты электрохимических процессов, которые с высокой точностью непосредственно выводятся на монитор в цифровом и графическом виде удобном для восприятия исследователя. Предусмотрены циклические процессы с различной скоростью развертки. Разработаны дополнительные программы специализированных расчетов кинетических параметров, например, потенциал и плотность тока коррозии, скорость растворения металла, кажущиеся энергии активации.

Автоматизированный компьютеризированный комплекс является мобильным, что позволяет его применять в полевых условиях, получать мгновенно обработанные с высокой точностью экспериментальные данные и снизить требования к квалификации обслуживающего персонала.

### **Анализ электромагнитных процессов в тяговой сети постоянного тока**

Тодоренко В.А., Тюрютиков А.И., Маден М.О. (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»)

Для энергосистем используемых на электротранспорте характерны два типа задач:

- обеспечения допустимых режимов эксплуатации подводящих линий переменного тока;
- обеспечения допустимого постоянного напряжения и напряжения пульсация в линиях постоянного тока.

Работа линий переменного тока характеризуется существенным искажением гармонического состава напряжения и тока в связи с тем, что в таких сетях используются мощные электрические преобразователи. Технически проблема улучшения гармонического состава может быть решена с использованием выпускаемых компенсаторов реактивной мощности активного либо пассивного типа.

В линиях постоянного тока для снижения уровня пульсаций напряжения, как правило, используются коммутируемые пассивные сглаживающие фильтры, рассматривается также возможности применения активных сглаживающих фильтров.

В данной работе исследовались вопросы улучшения качества электроэнергии в тяговых сетях постоянного тока.

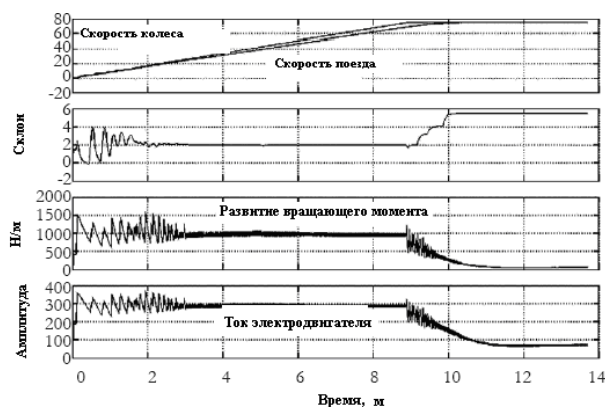


При моделировании исследовался участок между двумя тяговыми подстанциями постоянного тока с перемещающимся составом. При проведении анализа электромагнитных процессов выделялись следующие квазистатические режимы:

- движение состава с постоянной скоростью;
- движение состава с постоянным ускорением;
- движение состава с постоянным замедлением (рассматривался режим рекуперации энергии в сеть постоянного тока).

Кроме того, проводился анализ динамических режимов перемещения, где ускорение чередуется с замедлением.

Целью анализа являлись исследования на постоянном токе, а также определение распределения действующего значения напряжения пульсаций вдоль участка.



При проведении анализа в модели линии постоянного тока учитывались распределенные активные составляющие сопротивлений контактной сети и рельсов, а также заземления.

На приведенном рисунке представлены частные результаты моделирования сочетающего квазистатический режим разгона с постоянной скоростью, по окончании которого имитировано дополнительное ускорение за счет изменения уклона участка.

Результаты анализа на постоянном токе позволили сформулировать требования к характеристикам подстанций постоянного тока и периодичности их установки.

На основании оценки результатов анализа пульсационной составляющей были выработаны требования к параметрам и частоте установки промежуточных фильтров постоянного тока.

### **Автоматическая компенсация реактивной мощности в тяговой сети переменного тока на железнодорожном транспорте Украины и стран СНГ**

Шелягин В.Д., Никулин А.Т., Бернацкий А.В. (ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины),  
Берзан В.П., Римский В.К., Пацюк В.И., Тыршу М.С.  
(Институт энергетики АН Республики Молдова)

Внедрение энергосберегающих технологий становится одним из наиболее актуальных вопросов настоящего времени, в условиях мирового финансового кризиса, роста цен на электроэнергию и другие энергоресурсы. Одним из наиболее эффективных и масштабных направлений сокращения потребления энергоресурсов является отраслевое энергосбережение за счет внедрения новых и усовершенствования существующих энергосберегающих технологий и оборудования.

Одним из крупнейших потребителей энергетических ресурсов в стране является железнодорожный транспорт Украины. По данным НЭК «Укрэнерго» в 2008 году, украинскими железными дорогами потреблено около 6 млрд. кВт·ч электроэнергии. Экономия даже 1% потребления электроэнергии для «Укрзализныци» равносильна снижению затрат на \$4-5 млн. долл./год. Поэтому проведение энергосберегающих мероприятий, к которым принадлежит разработка и внедрение автоматических установок для компенсации реакти-



вної потужності (УКРМ) в тягових мережах залізничного транспорту України є актуальним проектом нашого часу.

В даний час, на залізничному транспорті країн СНГ тягові підстанції перемінного струму на 27,5 кВ частково оснащені „нерегульовуваними” установками компенсації реактивної потужності. В таких установках компенсуюча потужність постійна і передбачає визначену величину навантаження в тяговій мережі. В результаті, при зміні навантаження відбувається споживання або генерація реактивної потужності. В обох випадках необхідно платити кошти як за перебіги реактивної потужності, так і за надлишок споживання активної енергії. Крім того, існуючі установки для компенсації за 25-35 років експлуатації вже виснажили свій ресурс і деякі з них знаходяться в аварійному стані. Ремонт і переобладнання таких установок є нецелесообразним як з технічної так і з економічної точки зору. Автоматичні УКРМ для компенсації на залізничному транспорті до цього часу в країнах СНГ не виготовлялися через відсутність швидкодіючих надійних комутаційних елементів.

В роботі пропонується двофазна динамічно-ступінчаста АУКРМ з використанням оригінальних схемо-технічних рішень. Пропонується установка здійснює плавну регулювання реактивної потужності і побудована за модульним принципом, що дає можливість отримувати необхідну компенсуючу потужність з використанням типових елементів, які в основному виробляються на підприємствах України. Кожен модуль має фіксовану компенсуючу потужність і власну резонансну частоту. Компенсуюча потужність формується на основі інформації, отриманої від датчиків струму і напруги, шляхом включення-виключення відповідних модулів і плавної діапазонної регулювання. Установка дозволяє підтримувати в тяговій мережі  $\cos \varphi = 0,96 \dots 1,00$  в масштабі реального часу з реакцією на зміну навантаження до 1 сек, що дозволяє на 94-96% зменшити платежі за реактивну і на 3-5% за активну електроенергію, і збільшити термін служби основної енергетичної апаратури за рахунок його навантаження по потужності.

На тяговій підстанції «Шевченково», виконані виміри і проведені розрахунки, які дозволили на даному прикладі розглянути питання доцільності впровадження подібних установок в тяговій мережі залізничних доріг України і країн СНГ.

### **Удосконалення арматури контактних підвісок для поліпшення струмознімання в умовах швидкісного руху**

Шеремет О.П. (ЛМЗ «Веста»), Дьяков В.О., Сиченко В.Г. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Україна)

Впровадження швидкісного руху потребує вирішення низки завдань для забезпечення надійного, стійкого та якісного струмознімання. Як відомо, на процес струмознімання впливає ціла низка факторів, до яких відносяться жорсткість (еластичність) контактної підвіски та кількість жорстких точок і зосереджених мас. При цьому зношування контактної провідної у жорсткій точці може збільшуватись більш ніж у два рази.

Основні жорсткі точки та зосереджені маси на контактній підвісці обумовлені наявністю фіксаторів, стикових, живлячих затискачів і т.і. Тому при впровадженні швидкісного руху необхідно виконувати заходи по зменшенню ваги арматури контактної мережі з забезпеченням необхідної механічної міцності та електричних властивостей.

Така робота вже на протязі декількох років проводиться ЛМЗ «Веста» у співдружності з кафедрою Електропостачання залізниць ДПТУ. Результатом даної співпраці є розробка



сучасних полегшених затискачів контактної мережі. Порівняльний аналіз затискачів наведено у таблиці.

№ п.п	Назва виробу та його позначення		Наявність метизів	Виробники				
				УКС	ТРЕЛ	СЕЗ	КС «Енергія»	ЛМЗ «Веста»
				Вага в кг.				
1.	Затискач струновий	046	+	0,150	0,150	0,150	0,170	0,160
2.	Затискач струновий	046-1	+	0,220	0,220	0,220	--	0,220
3.	Затискач струновий	046	+	0,124	-	-		-
4.	Затискач струновий для контактного проводу	046-8	--	-	-	-	-	0,091
5.	Затискач струновий для несучого тросу перерізом 95мм <sup>2</sup>	046-9	--	-	-	-	-	0,120
6.	Затискач струновий для несучого тросу перерізом 120мм <sup>2</sup>	046-10	--	-	-	-	-	0,126
7.	Затискач фіксаторний	049	+	0,350	0,320	0,340	0,360	0,362
8.	Затискач фіксаторний	049-6	--	-	-	-	-	0,207
9.	Затискач живильний контактного проводу	053	+	0,520	0,550	0,520	0,630	0,534
10.	Затискач живильний контактного проводу	053-8	--	-	-	-	-	0,364

#### Влияние режима нейтрали на внутренние перенапряжения в системах электроснабжения

Шкрабец Ф.П. (Национальный горный университет, г.Днепропетровск),  
Ковалев А.И. (ОАО «Южный ГОК», г.Кривой Рог)

В общем случае оценка эффективности и выбор режима работы нейтрали распределительных и питающих сетей осуществляется на основе технико-экономического сравнения вариантов. При этом определяющими критериями оценки режимов нейтрали следует считать: надежность электроснабжения; электробезопасность; обеспеченность защитой от однофазных замыканий на землю и качество ее работы; экономичность системы.

При прочих равных условиях надежность электроснабжения электроприемников или надежность распределительных сетей в основном определяется повреждаемостью элементов сети и качеством работы устройств релейной защиты. Степень влияния указанных факторов на надежность работы распределительных сетей зависит от режима нейтрали, который в свою очередь определяет уровень внутренних перенапряжений и характер пере-



ходных процессов при однофазных замыканиях на землю. Уровень перенапряжений оказывает определяющее влияние на повреждаемость электрических сетей и их элементов, а характер переходных процессов – на качество работы устройств защиты от замыканий на землю.

Системы электроснабжения с полностью изолированной нейтралью по сравнению с сетями с другими режимами нейтрали не требуют дополнительных капитальных затрат. Однако эксплуатационные расходы в сетях с полностью изолированной нейтралью за счет большей повреждаемости, а также за счет ущерба от перерывов электроснабжения значительно больше, чем в сетях, работающих с другими режимами нейтрали.

С экономической точки зрения распределительные сети с компенсацией емкостного тока замыкания на землю требуют дополнительных капитальных затрат на дугогасящие реакторы и устройства для их подключения. Что касается эксплуатационных расходов, то они значительно меньше, чем в сетях с полностью изолированной нейтралью за счет меньшей повреждаемости элементов системы. При резонансной настройке компенсирующего устройства и при незначительных расстройках компенсации в электрических сетях запасы электрической прочности изоляции по отношению к воздействующим перенапряжениям увеличиваются до 30 %.

Электрические сети с резистором в нейтрали, обладают, по сравнению с сетями с полностью изолированной или компенсированной нейтралью, более высокой надежностью за счет улучшения качества работы устройств защиты от однофазных замыканий на землю, исключения феррорезонансных процессов и уменьшения повреждаемости элементов системы электроснабжения. Последнее обусловлено значительным снижением уровня внутренних перенапряжений, сопровождающих однофазные замыкания на землю.

### **Возможности испытательного центра днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна**

Пшинько А.Н., Мямлин С.В., Письменный Е.А.

(Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна)

Испытательный центр создан с целью проведения испытаний по сертификации технических средств железнодорожного транспорта на базе Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна.

Основными направлениями деятельности испытательного центра являются:

- испытания подвижного состава железных дорог, промышленного и городского транспорта, пути и транспортных сооружений с использованием современного профессионального оборудования, проводимые высококвалифицированными специалистами;
- разработка и экспертиза технических условий, норм и методик для проведения испытаний по сертификации железнодорожной техники и оборудования;
- разработка обучающих и тестирующих программных комплексов, необходимых для обучения, повышения квалификации, тестирования и сдачи экзаменов сотрудников всех уровней железных дорог и промтранспорта;

Основным видом деятельности испытательного центра является проведение испытаний технических средств железнодорожной техники, материалов, запасных частей и оборудования для целей сертификации в системе Укр СЕПРО и Системе сертификации на Федеральном железнодорожном транспорте Российской Федерации. Вместе с тем испытательная база Испытательного центра позволяет испытывать широкую номенклатуру обо-



рудования, изделий и материалов из различных отраслей промышленности. Специалисты Испытательного центра имеют опыт испытания ж.д. техники предприятий Польши, Венгрии, Германии, Ирана, Литвы, Китая, России и Украины, а также международных испытаний для зарубежных организаций:(испытания локомотивов в Египте и Эстонии для «General Electric» (США), испытания локомотивов в Литве и др.), а так же создают различные тренажеры для обучения специалистов железнодорожного транспорта.

Кроме сертификационных испытаний в центре проводятся исследовательские, контрольные, сравнительные, приемочные, аттестационные и другие виды испытаний подвижного состава, запасных частей и оборудования, элементов пути, строительных материалов и других изделий.

В область аккредитации испытательного центра входят так же лаборатории предприятий: ОАО «Крюковский вагоностроительный завод», ОАО «АЗОВМАШ», ОАО «Днепрорагонмаш», ОАО «Днепропетровский стрелочный завод», ГКБ «Южное», ОАО «Стахановский вагоностроительный завод», Днепропетровский трубный институт.



Испытательный центр может выполнять следующие виды испытаний для пассажирских, грузовых, специализированных вагонов, путевых машин, элементов верхнего строения пути: ходовые - динамические; ударные; тягово-энергетические; теплотехнические; электротехнические; эксплуатационные; тормозные; прочностные и ресурсные испытания; стендовые; по влиянию подвижного состава на путь; определение механических и химических свойств материалов.

Испытательный центр выполняет испытания строительных и композиционных материалов (СКМ), а также железобетонных изделий, применяемых в строительстве пути, проводит работы по паспортизации пути и сооружений, проектно-конструкторские работы по созданию различных строений для железнодорожного транспорта.



## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

1. Аналіз причин пошкоджень елементів рами візка вагона метрополітену <i>Атлас М.В., Донченко А.В., Яланський М.І., Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В.</i> .....	3
2. Визначення показників надійності елементів рами візка вагона метрополітену <i>Атлас М.В., Донченко А.В., Яланський М.І., Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В.</i> .....	3
3. Дослідження конструкції рами візка вагону метрополітену з метою визначення надійності її елементів <i>Атлас М.В., Донченко А.В., Яланський М.І., Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В.</i> .....	4
4. Щодо можливості подовження терміну експлуатації візків вагонів метрополітену <i>Атлас М.В., Донченко А.В., Яланський М.І., Водянніков Ю.Я., Шелейко Т.В.</i> .....	5
5. Пути снижения энергозатрат на испытания тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока <i>Афанасов А.М.</i> .....	6
6. Математична модель коливання елементів пантографа електротранспорту під впливом повітряних вихревих потоків <i>Баб'як М.О., Куліченко А.Я.</i> .....	7
7. Использование современных полупроводниковых ключей в системах автоматического регулирования напряжения цепей управления <i>Белухин Д. С.</i> .....	8
8. Удосконалення діагностування вугільних вставок струмоприймачів <i>Большаков Ю.Л., Сиченко В.Г., Мандич В.Г.</i> .....	9
9. Новий рівень автоматизації сортувальних станцій <i>Бочаров А.П., Акуленко А.А., Михальов Г.О.</i> .....	10
10. О нормировании расхода электроэнергии на тягу поездов <i>Гетьман Г.К.</i> .....	13
11. Визначення похибки виміру ходового опору відцепу за допомогою імітаційної моделі <i>Жуковицький І. В., Іващенко Є. В.</i> .....	14
12. Особенности учета электрической энергии, возвращаемой электровозами переменного тока в тяговую сеть при их рекуперативном торможении <i>Ивашкеева Е. В.</i> .....	14
13. Аналіз характеристик апаратів захисту електрообладнання електровоза ДЕ1 від КЗ і перевантажень <i>Кійко А.І., Власенко Б.Т., Афанасов А.М.</i> .....	15
14. Улучшение сцепных свойств электровозов постоянного тока ДЭ1 <i>Крячко А. Г.</i> .....	16
15. Обеспечение надежности подвижного состава при высоких скоростях <i>Ларюшкин В. Л.</i> .....	16
16. Критерії порівняльного аналізу варіантів побудови статичних перетворювачів тягового приводу багатосистемних електровозів <i>Муха А. М.</i> .....	17



17. Аналіз стану експлуатаційної готовності електровозів ДЕ1 та можливі шляхи їх модернізації <i>Рогачов С.І., Панченко Р.О., Гордієнко Д.О., Нікулін В.С.</i> .....	18
18. Аналіз експлуатаційної ефективності електровозів ДС3 та раціональні шляхи їх модернізації <i>Рогачов С.І., Панченко Р.О., Гордієнко Д.О., Нікулін В.С.</i> .....	19
19. Оценка работоспособности скоростных токоприемников в условиях низких температур <i>Сидоров О.А., Томилов В.В., Лямышев Д.Г.</i> .....	20
20. Рудничный контактный электровоз с тяговым электроприводом переменного тока <i>Синчук О.Н., Синчук И.О., Караманиць Ф.И., Зайцев И.Н., Пасько О.В.</i> .....	21
21. Проблема диагностики полупроводниковых преобразователей электровозов переменного тока <i>Трофимович П.Н.</i> .....	22
22. Способ повышения коэффициента мощности зависимого однофазного инвертора электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения <i>Фокин Д.С., Власьевский С. В.</i> .....	23
23. Особливості комутації під час перехідних процесів при ослабленому полі з урахуванням впливу відхилень параметрів тягових двигунів електровозів <i>Шаповалов А.В.</i> .....	24

#### СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ»

1. Сравнительный анализ схемных решений стабилизированной тяговой подстанции постоянного тока <i>Андриенко П.Д., Каплиенко А.О., Шило С.И., Немудрый И. Ю.</i> .....	26
2. Концепция обновления и перспективы технического развития систем тягового электроснабжения <i>Бадёр М.П., Сыченко В.Г.</i> .....	27
3. Універсальна Matlab-модель керованих, напівкерованих і некерованих тягових дванадцятипульсних випрямлячів послідовного типу <i>Божко В. В., Козачок В. М.</i> .....	28
4. Аналіз складно-замкнених електричних мереж матричним методом <i>Бондар І.Л., Костів Г.І.</i> .....	28
5. Аналіз пропускної спроможності при електрифікації нових ділянок Одеської залізниці <i>Босий Д.О., Дубінін В.В.</i> .....	29
6. Управління режимом компенсації реактивної потужності для зниження витрат за її споживання та генерацію на тягових підстанціях змінного струму <i>Босий Д.О., Загинайко О.В.</i> .....	31
7. Аналіз ефективності застосування регульованої компенсації реактивної потужності в умовах Одеської залізниці <i>Босий Д.О., Лойко А.В.</i> .....	32
8. Вивчення електромагнітних процесів в системах електропостачання електричного транспорту змінного струму <i>Босий Д.О., Сиченко В.Г.</i> .....	33

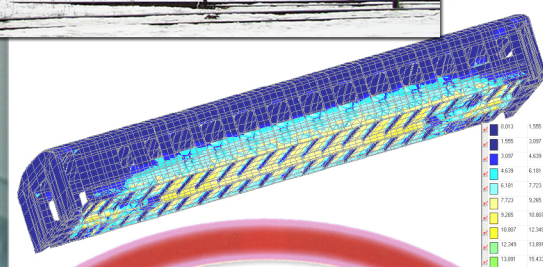
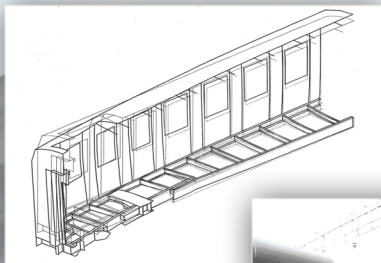


9. К вопросу о качестве электроэнергии в тяговой сети при работе электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения <i>Буняева Е. В., Власьевский С. В., Скорик В. Г.</i> .....	34
10. Преобразователь формы напряжения для системы электроснабжения контактной сети переменного тока <i>Гончаров Ю.П., Замаруев В.В., Кривошеев С.Ю., Иванов А.Е., Морозов П.П., Панасенко Н.В., Сыченко В.Г.</i> .....	35
11. Разработка устройства подмагничивания полоза токоприемника постоянного тока <i>Грехов А. О.</i> .....	36
12. Исследование применения усиленных электрических дренажей для противокоррозионной защиты газопроводов г. Днепропетровска <i>Дьяков В.А., Фарберов С.И., Гнилов В.В., Сорокендя В.С., Дьяков А.В.</i> .....	37
13. Основы построения радиосистемы контроля неисправных токоприемников и гололедных режимов по дуговым нарушениям токосъема <i>Жарков Ю.И., Семенов Ю.Г.</i> .....	37
14. Опыт разработки измерительно-вычислительного комплекса для вагона «Тягово-энергетическая лаборатория» <i>Зубенко В.А., Сирота С.А.</i> .....	44
15. Сравнительный анализ линейных изоляторов для контактных сетей железных дорог <i>Ким Ен Дар, Сыченко В.Г., Калмыков В.Л., Назаренко А.В.</i> .....	49
16. Аккумуляирование энергии рекуперации транспортных систем с помощью емкостных энергонакопителей <i>Колб А.А.</i> .....	50
17. Непроизводительные потери электроэнергии – определяющий показатель эффективности тягового электропотребления <i>Костин Н.А.</i> .....	51
18. Исследования характеристик подвесных тарельчатых фарфоровых изоляторов контактной сети <i>Кочунов Ю.А.</i> .....	52
19. Симметрирование нагрузок тяговых подстанций переменного тока <i>Крячко А. Г.</i> .....	54
20. Підвищення енергетичної ефективності електротранспорту шляхом удосконалення процесу перевезень <i>Кузнецов В.Г., Калашников К.О.</i> .....	54
21. Розрахунок системи тягового електропостачання із застосуванням теорії потоків відновлення <i>Кузнецов В.Г.</i> .....	55
22. Совершенствование методики расчета электрических полей в сложносоставных изоляционных конструкциях силового электромашиного оборудования <i>Кузьминых И. А.</i> .....	56
23. Напрямки досліджень по удосконаленню залізобетонних опор контактної мережі електрифікованих залізниць <i>Сиченко В. Г., Кучмій О. С.</i> .....	57
24. Метод імовірнісного аналізу електромагнітних процесів у тяговій мережі <i>Міщенко Т.М.</i> .....	58



25. Повышение безопасности железобетонных опор <i>Васильев И. Л., Павличенко М. Е.</i> .....	59
26. Контактная подвеска с повышенными эксплуатационными качествами <i>Павличенко М. Е.</i> .....	60
27. Малогабаритний згладжуючий реактор для тягових підстанцій постійного струму <i>Петров А.В.</i> .....	60
28. Покращення використання середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі <i>Полях О.М.</i> .....	61
29. Влияние погрешностей высоковольтных измерительных трансформаторов на точ- ность измерения электроэнергии <i>Рудевич Н.В.</i> .....	62
30. Розробка моделі швидкодіючого вимикача. <i>Рябокін Б.А., Зубенко В.А., Сиченко В.Г.</i> .....	63
31. Дослідження взаємодії струмоприймача та контактної мережі <i>Сиченко В.Г., Мандич В.Г., Клак О.М., Михайлов О.В., Маркевич О.Г., Пилипишин Р.М., Селіванов О.І.</i> .....	64
32. Перспективні напрямки розвитку систем тягового електропостачання постійного струму <i>Сиченко В. Г., Сисоєва М. С.</i> .....	65
33. Моделювання схемних рішень активних фільтрів тягових підстанцій постійного струму <i>Словак О.Д., Зубенко В.А.</i> .....	66
34. Оборудование для исследований электрохимических процессов на металлах <i>Татарченко Г. О., Черкас К.В.</i> .....	67
35. Анализ электромагнитных процессов в тяговой сети постоянного тока <i>Тодоренко В.А., Тюрютиков А.И., Маден М.О.</i> .....	68
36. Автоматическая компенсация реактивной мощности в тяговой сети переменного тока на железнодорожном транспорте Украины и стран СНГ <i>Шелягин В.Д., Никулин А.Т., Бернацкий А.В., Берзан В.П., Римский В.К., Пацюк В.И., Тыришу М.С.</i> .....	69
37. Удосконалення арматури контактних підвісок для поліпшення струмознімання в умовах швидкісного руху <i>Шеремет О.П., Дьяков В.О., Сиченко В.Г.</i> .....	70
38. Влияние режима нейтрали на внутренние перенапряжения в системах электроснабжения <i>Шкрабец Ф.П., Ковалев А.И.</i> .....	71
39. Возможности испытательного центра днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна <i>Пишнько А.Н., Мямлин С.В., Письменный Е.А.</i> .....	72





# ОАО "КРЮКОВСКИЙ ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД"

39621, Украина  
г. Кременчуг, ул. И.Приходько, 139  
телефон: (380 536) 76-95-05. 76-94-09  
факс: (0532) 50 -14-21

[www.kvsz.com](http://www.kvsz.com)  
E-mail: [kvsz@kvsz.com](mailto:kvsz@kvsz.com)