

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧ-
НОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА



Матеріали
X Міжнародної науково-практичної конференції
ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ
«ТРАНСЕЛЕКТРО-2017»

Материалы
X Международной научно-практической конференции
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА
«ТРАНСЭЛЕКТРО-2017»

Proceedings
of the X International Scientific Conference
ELECTRIFICATION ON TRANSPORT
«TRANSELECTRO-2017»

20 – 21 грудня 2017 р.

Дніпро
2017

УДК 621.331

Електрифікація транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО – 2017»: Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 20–21.12.2017 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2017. – 99 с.

У збірнику представлені матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО – 2017», яка відбулась 20–21.12.2017 р. у м. Дніпро.

Збірник призначений для науково-технічних працівників залізниць, підприємств транспорту, наукових організацій, викладачів і науковців вищих навчальних закладів, аспірантів і студентів.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Мямлін С. В. – д.т.н., проф. (ДНУЗТ, Україна)

Гетьман Г.К. – д.т.н., проф. (ДНУЗТ, Україна)

Сиченко В.Г. – д.т.н., проф. (ДНУЗТ, Україна)

Electrification on Transport «TRANSELECTRO-2017»: Proc. of X International Scientific Conference (Dnipro, 20–21.12.2017) – Dnipro.: DNURT, 2017. – 99 pp.

The collection contains materials of X International Scientific Conference «Electrification on Transport «TRANSELECTRO-2017», which took place on 20–21.12.2017 in Dnipro.

The collection is intended for scientific and technical workers of railways, transport enterprises, scientific organizations, teachers and scientists of higher educational establishments, post-graduate students and students.

EDITORIAL BOARD

Myamlin S. V. – Dr.Sc., Prof. (DNURT, Ukraine)

Getman G.K. – Dr.Sc., Prof. (DNURT, Ukraine)

Sychenko V.G. – Dr.Sc., Prof. (DNURT, Ukraine)

Адреса редакційної колегії:

49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Матеріали в збірнику друкуються на мові оригіналу в редакції авторів.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Головуючий:

Пшінько О.М. – д.т.н., проф., ректор ДНУЗТ;

Заступники голови комітету:

Мямлін С.В. – д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ДНУЗТ;

Гетьман Г.К. – д.т.н., проф. зав. кафедри Електрорухомий склад залізниць ДНУЗТ;

Сиченко В.Г. – д.т.н., проф., зав. кафедри Інтелектуальні системи електропостачання ДНУЗТ.

Члени наукового комітету:

Аврамович Зоран Ж. – д.т.н., проф. (Сербія)

Афанасов А.М. – д.т.н., проф., (ДНУЗТ)

Бадьор М.П. – д.т.н., проф. (МІІТ, Росія)

Бялонь А. – к.т.н. (Інститут залізничного транспорту, Польща)

Дебеш Чаундхьюрі – д.т.н., проф. (Університет Адамасу, Індія)

Васяк І. – д.т.н., проф. (Лодзинська політехніка, Інститут електроенергетики, Польща)

Денисюк С.П. – д.т.н., проф. (НТУУ КПІ, Україна)

Далека В.Ф. – д.т.н., проф. (ХГТУКХ, Україна)

Марекс Мезітіс – д.т.н., проф. (Ризький технологічний університет, Латвія)

Кричевський М. – проф. (SATEC, Ізраїль)

Кузнецов В.Г. – д.т.н., проф., (ДНУЗТ)

Омарбеков А.К. – д.т.н. (Казахстан)

Саєнко Ю.Л. – д.т.н., проф. (ПГТУ, Україна)

Сергєєв Д.А. – д.т.н., проф. (РГТУ, Латвія)

Ягелло Адам – д.т.н., проф. (Краковська політехніка, Польща)

Стискала В. – д.т.н., проф. (Острівський технічний університет, Чеська Республіка)

Торек А. – к.т.н. (Будапештський університет технології і економіки, Угорщина)

Шелонг А. – д.т.н., проф. (Варшавська політехніка, Польща)

Секретар конференції:

Босий Д. О. – д.т.н., доц. кафедри Інтелектуальні системи електропостачання ДНУЗТ.

Дослідження параметрів швидкісних контактних підвісок

Антонов А. В., Єфремова К. Р., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогодні однією з найважливіших стратегічних завдань розвитку залізничного електрифікованого транспорту є ріст його ефективності роботи. У ряді технічних і економічних проблем електрифікованих залізниць одне з основних місць займає проблема забезпечення надійного й економічного струмознімання, яка актуалізується з підвищенням швидкостей руху електрорухомого складу (ЕРС) до 161...200 км/год.

В ході проведеного аналізу напрямків підвищення якості взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачами сформовані наступні висновки:

- контактна мережа повинна мати рівномірну еластичність по довжині прогону та відповідати умові відтискання контактного проводу на величину не більше 1 мм при прикладенні зусилля в 1 Н;
- використовувати контактні підвіски, проводи яких мають підвищений натяг;
- використовувати зносостійкі контактні проводи;
- застосовувати швидкісні асиметричні струмоприймачі, натиск яких повинен бути стабільним, а його траєкторія повинна бути близькою до прямолінійної;
- струмоприймачі повинні бути обладнані антифрикційними струмознімальними елементами з підвищеною зносостійкістю;
- використовувати струмопровідні струни.

Проведені експлуатаційні дослідження відтискання контактного проводу ресорної контактної підвіски КМ-160, що експлуатується на змінному струмі, при статичному натиску 8 даН. Виміри проводилися в трьох середніх прогонах анкерної ділянки і були усередненими для побудови графіків.

Отримані дані свідчать про явну нерівномірність відтискання контактного проводу вздовж прогону, хоча, розподіл еластичності відповідає існуючим нормативам. Це свідчить про можливість експлуатації існуючих контактних підвісок КМ-160 при швидкості руху ЕРС до 160 км/год, що власне і наразі підтверджується використанням двосистемних електропоїздів «Тарпан», «Hyundai Rotem» та «EJ-675» компанії Škoda Vagonka.

Для використання швидкісного електрорухомого складу потрібно проводити модернізацію контактних підвісок до КМ-200. Для яких використовують несучий трос М-120 з натягом в 1800 даН чи Бр-120 з натягом в 2000 даН та контактні проводи БрФ-120 з натягом в 2000 даН, встановлюють електропровідні струни МГ-16.

Для дослідження параметрів контактних підвісок КМ-200, в роботі було проведено зрівняльний розрахунок взаємодії струмоприймача зі статичним натиском в 12 даН типу

АХ-NG виготовлення Faveley-Lekov, що вже експлуатується на електрорухомому складі Hyundai Rotem HRCS2 and Skoda EJ675 з контактними підвісками М-120+БрФ-120 (у відповідності до проекту КМ-200-25) та Бр-120+БрФ-120 зі встановленими струмопровідними струнами МГ-16.

Встановлено, що контактна підвіска М-120+БрФ-120 має значно більші значення відтискання контактного проводу по довжині прогону та різку неоднорідність в зоні опорного вузла, в зрівнянні з Бр-120+БрФ-120, що призведе до більш інтенсивного зношування контактного проводу в цій зоні і, як результат, до різкого скорочення його терміну служби.

Контактна підвіска Бр-120+БрФ-120 володіє значно більшою рівномірністю еластичності, що відповідає умові відношення відтискання контактного проводу на 1 мм при натиску в 1 Н та свідчить про можливість її використання на ділянках швидкісного руху.

Удосконалення конструкцій контактної мережі направлено на підвищення швидкості руху електрорухомого складу, підвищення надійності роботи контактної мережі та збільшення терміну служби контактних проводів, що досягається застосуванням більш зносостійких матеріалів останніх і якісним регулюванням контактних підвісок.

Особливості побудови високочастотних моделей тягових трансформаторів

Бондар О.І., Передерій О.Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Важливою складовою проблеми створення нового високошвидкісного та енергоефективного електрорухомого складу є розробка сучасних тягових силових трансформаторів призначених для роботи у складі єдиного електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронний двигун». При цьому з економічної точки зору, раціональним є використання на стадії проектування комп'ютерних моделей зазначених тягових трансформаторів, які дозволяють прогнозувати електричні величини у вказаному комплексі в широкому діапазоні частот силового перетворювача.

Схема заміщення на якій ґрунтується комп'ютерна модель силового трансформатора має враховувати наступні особливості його конструкції. Передусім, за класифікацією згідно класичної теорії трансформаторів, тяговий трансформатор представляє собою однофазний багатообмотковий масляний трансформатор з вимушеним охолодженням. Його особливістю також є і доволі жорсткі обмеження на масо-габаритні показники пристрою. На відміну від силових трансформаторів промислових електричних систем, у моделях яких в більшості випадків електричною ємністю можна знехтувати, модель тягового трансформатора має бути адекватною у широкому діапазоні частот і для цього має містити у своєму складі власні ємності окремих частин трансформатора.

Існуючі на сьогодні схеми заміщення тягових трансформаторів базуються на теорії електричних кіл із взаємною індуктивністю. Актуальною задачею на сьогодні є адаптація їх структури під стандартні модулі програм комп'ютерного моделювання, таких, як, наприклад, Matlab Simulink, з додаванням відповідних ємностей.

Як відомо, у загальному випадку, власна ємність обмоток трансформатора складається з ємностей між внутрішнім шаром обмотки та магнітопроводом, між шарами обмотки, між окремими обмотками. Існують також ємності між зовнішнім шаром обмотки та екраном або баком трансформатора, монтажні ємності та ємності підключених провідників. У той же час дуже часто при аналізі різних вищезазначених процесів у трансформаторах використовують інтегральне значення ємності, яку умовно підключено до його входних затис-качів.

Якщо методики визначення параметрів активних та індуктивних елементів схем заміщення трансформаторів є у більшій мірі розробленими, визначення ємностей трансформатора представляє собою набагато складніший процес. Вони можуть бути визначені аналітичним розрахунком або експериментальним шляхом, проте, на нашу думку, найбільш перспективним шляхом визначення ємностей у трансформаторі є той, що базується на розрахунку енергії електромагнітного поля у його окремих частинах, яка в свою чергу пряму пов'язана з ємністю. Такий розрахунок доцільно проводити передусім на основі комп'ютерного моделювання за допомогою тривимірної моделі даного трансформатора, наприклад, у середовищі Ansoft Maxwell 3D. Отримані в результаті такого розрахунку дані в подальшому можуть бути використані у високочастотній моделі на основі середовища Matlab Simulink.

Зауважимо наприкінці, що зазначені вище моделі цілком можуть бути застосовані для вирішення питань забезпечення електромагнітної сумісності нового електрорухомого

складу з існуючими колами СЦБ та зв'язку, що також є необхідною умовою його впровадження в експлуатацію на залізницях України.

Розробка методології підвищення надійності тягових агрегатів за рахунок застосування технічних засобів діагностування напівпровідникових приладів

Гриценко І.В., Ляшук В.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На тягових підстанціях завжди є силові перетворювальні агрегати, призначення яких перетворювати трифазний струм високої напруги, що отримується від енергосистеми, в струм відповідного роду (однофазний, постійний) і напруги (27,5 кВ, 3,3 кВ) для живлення електричного рухомого складу.

В якості перетворювальних агрегатів на тягових підстанціях постійного струму, як правило, використовуються випрямлячі. Одним з основних показників роботи перетворювальних агрегатів є кількість переробленої ними електроенергії, яка ураховується на всіх підстанціях. Цей показник досить повно характеризує струмове і, отже, теплове навантаження конкретного агрегату, за винятком її циклічності. Тому доцільно оцінювати спрацювання на відмову по електроенергії, що переробляється агрегатом.

Перенапруження помітно впливають на напрацювання перетворювального агрегату, знижуючи його в окремих випадках на декілька десятків відсотків. При одному і тому ж напрацюванні для агрегату з великим числом послідовно з'єднаних вентилів допускається більша кількість вентилів, що відмовили. Чим менше це число, тим більше напрацювання агрегату до моменту досягнення заданого допустимого числа вентилів, що відмовили. Причиною значної частини відмов вентилів є їх перегрів через так зване "теплого старіння", яке в умовах тягової підстанції починає прогресувати після п'яти-шести років експлуатації перетворювального агрегату, а також виходу з ладу вентилів в експлуатації служило зростання зворотного струму у 70 % вентилів, що відмовили. У міру погіршення теплового стану вентилів знижується струм агрегату, при якому захист спрацьовує помилково.

Аналіз експлуатації перетворювальних агрегатів приводить до висновку про необхідність спробувати збільшити довговічність експлуатованих вентилів. Для цього можливі три шляхи. Перший шлях полягає в максимально можливому вирівнюванні умов охолодження і швидкості старіння вентилів, для чого вентиля верхніх і нижніх рядів після декількох років експлуатації міняють місцями. Другий шлях полягає в збільшенні ресурсу вентилів за рахунок нормування гранично допустимих в експлуатації значень теплового опору. Третій шлях - це підвищення довговічності вентилів за рахунок полегшення режимів роботи (зниження навантажень) перетворювального агрегату.

Полегшення режиму роботи агрегату приведе не тільки до можливості збільшення значення бракування теплового опору вентиля, але одночасно і до зниження швидкості його росту в процесі теплового старіння. Проте, у зв'язку з тим, що при виборі доцільних режимів роботи агрегатів потрібно зважати перш за все на втрати в них енергії, зниження завантаження перетворювального агрегату економічно лише до певної межі. Аналіз режимів роботи агрегатів і установок автоматичного включення і відключення резерву (АВОР), що використовується на ділянках електропостачання різних доріг, показав, що більшість з них встановлює режим роботи з урахуванням конкретних умов і фактичного завантаження підстанцій.

В даний час питання оцінки технічного стану напівпровідникових перетворювачів вирішуються двома видами діагностики: тестової та функціональної. Тестовий спосіб діагностування пов'язаний із застосуванням генератора імпульсів тестових сигналів, який

підключається до окремих ділянок електричного кола випрямляча. Функціональний аналіз може бути використаний для виявлення аномальних режимів роботи випрямляча в електроприводах залізничного обладнання, так як для проведення процедури діагностування потрібно вивести перетворювач з експлуатації.

Для покращення діагностування напівпровідникових приладів був запропонований спосіб діагностики випрямлячів з використанням аналізу кривих миттєвих значень фазних струмів, який дозволяє виявляти аномальний режим роботи випрямляча і дає можливість вказати місце несправності. Глибину діагностики можна збільшити аж до визначення гілки і плеча моста з відхиленням від нормальної роботи випрямляча, якщо використовувати миттєві значення фазних струмів.

Останніми роками досягнутий певні успіхи в створенні силових напівпровідникових приладів із спеціальними характеристиками і тимчасовими параметрами. Ведуться роботи по значному збільшенню номінальних напруг приладів на основі використання дифузійної і епітаксialної технологій. Підвищення номінальних струмів досягається завдяки застосуванню напівпровідникових приладів сучасного покоління й інтенсифікації охолодження.

Кондуктивні завади в системах електрифікованого транспорту

Горенко Д.С., Мельничук Г.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Одна з ключових проблем роботи систем розосередженої генерації та відновлювальних джерел електроенергії з пристроями силової електроніки є нормальна робота системи під дією імпульсних періодичних завад. При роботі системи електроживлення використовуються різноманітні перетворювачі електроенергії, які є джерелом завад в мережі.

Через дію завад змінюється графік навантажувальної, передаточної характеристик, коливаються діючі значення робочого струму та амплітуди. Чим більша потужність використаного перетворювача, тим більші завади він вносить в систему, тому слід більш докладно дослідити питання впливу періодичних імпульсних завад на роботу системи електроживлення.

Кондуктивні завади можна поділити за наступними характеристиками: за характером поширення: симетричні(диференціальні), несиметричні (загального виду); по тривалості та регулярності завади: безперервні (стаціонарна), короткотривалі, регулярні, випадкові; за формою генерується завади: моносинусоїдальні, полисинусоїдальні, імпульсні; з енергетичного спектру перешкоди: вузькосмугові, широкосмугові; по області частот перешкоди: низькочастотні, високочастотні, радіочастотні.

Порушення функціонування технічних засобів, як і завад, неможливо передбачити. Це можна пояснити наявністю великої кількості механізмів, що викликають завади, так і статичним характером завадостійкості у більшості пристроїв автоматики.

До причин виникнення в системі кондуктивних електромагнітних завад, тобто взаємного впливу пристроїв або кондуктивних елементів, можна віднести: напруга живлення з частотою 50 Гц; високочастотні та низькочастотні тактові сигнали; сигнали в проводах управління або лініях передачі даних; комутаційні процеси в індуктивності; розряди в моменти замикання або розмикання контактів.

Згідно метода окремих складових, оригінал струму на інтервалі $i(t)$ знаходиться як різниця перехідного струму $i_{Pi}(t)$ (результат роботи генератора на інтервалі, який розглядається) і вільного струму $i_{Vi}(t)$ (результат роботи генераторів на всіх інших інтервалах, окрім того, що розглядається):

$$i_i(t) = i_{Pi}(t) - i_{Vi}(t)$$

Розрахунок здійснюється на основі формул визначення струмів на інтервалах для різних видів функцій змін параметрів еквівалентного генератора та еквівалентного навантаження за наступними етапами:

1. Визначення початкових часових констант моделі $\{G\}$ – $\{H\}$.
2. Побудова графіків $U(t)$, $RH(t)$, визначення періодів роботи генератора та навантаження, формування матриць моментів комутацій TU , TR , аналіз синхронності переключень генератора та навантаження для визначення спільних моментів комутацій.
3. Визначення початкових параметрів системи на інтервалах та представлення їх у вигляді матриць початкових параметрів напруги $UM1$ та опору $RM1$.
4. Визначення параметрів струмів навантаження на інтервалах через матриці параметрів вільних та перехідних струмів на поточному періоді, проведення розрахунків для кожного наступного інтервалу періоду T_t .

Порівняння властивостей мікропроцесорних комплектів і швидкодіючих вимикачів для захисту фідерів контактної мережі постійного струму

Данилов О.А., Сировець А.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Основним захистом фідерів контактної мережі постійного струму є швидкодіючі вимикачі. Вони працюють в складних робочих умовах. Для захисту вони використовують тільки зміну струму. Відрізнити коротке замикання в кінці зони від деяких складних робочих режимів досить важко, а інколи неможливо. До таких складних робочих режимів відносяться: пуски електропоїздів, відрив струмоприймача, проїзд ізольованого проміжку під струмом. Якщо аналізувати ці режими в часі, як осцилограми, то звісно вони відрізняються від характеру збільшення струму при коротких замиканнях. Але швидкодіючі вимикачі не мають такого аналізатору і можуть реагувати тільки на величину струму в залежності від швидкості його зміни.

Неможливість стовідсотково відрізнити швидкодіючим вимикачем аварію від робочого режиму, приводить до великої кількості відключень з невідомих причин. Додаткові відключення погано впливають на ресурс вимикача і збільшують його технічне обслуговування. Тому зменшенню хибних відключень приділяється велика увага.

З початком впровадження мікропроцесорної техніки в релейний захист, всі сподівалися на вирішення всіх проблем. Сучасні мікропроцесорні захисти мають достатню швидкодію, щоб використовуючи в якості вхідних даних струм і напругу, за доли мілісекунд розрахувати будь яку динамічну електричну характеристику, як то: опір, швидкість зміни струму в часі та інші.

На залізницях України використовують цифрові захисти МРЗС-05А-02 (ПО "Київ-прилад"), ЦЗАФ-3,3 (зараз ІнТер-3,3 ТОВ «НПЕФА-ЕНЕРГО») і SMTN-3 (ПАО «Плутон»). По технічним характеристикам ці пристрої схожі. Вони включають в собі наступні захисти:

- максимальний струмовий захист (двонаправлена МТЗ);
- захист по мінімальній і максимальній напрузі;
- захист по швидкості зростання струму;
- захист по зменшенню опору (дистанційний захист);
- захист по збільшенню струму за проміжок часу з урахуванням попереднього значення.

Всі захисти, які реалізовані в мікропроцесорних комплектах діють автономно і не мають можливості аналізувати і впливати один на інший, тобто представляють собою на-

бір автономних захистів, що використовують одні вхідні данні і конструктивно розташовані в одному корпусі. Розрахунок уставок виконується окремо для кожного захисту.

Практика впровадження мікропроцесорних захистів показала збільшення хибних відключень. Спочатку це пояснювали недосконалістю визначення уставок захистів. Потім почали використовувати не всі захисти. І врешті-решт стали використовувати мікропроцесорний захист як додатковий, а основним знову став швидкодіючий вимикач.

Збільшення хибних спрацьовувань пов'язані з швидкодією мікропроцесорних захистів. В процесі роботи в тяговій мережі виникають короточасні імпульсні кидки та провали струму. Кожен швидкодіючий вимикач має власний час спрацьовування. Він залежить від механічних процесів руху якоря та електромагнітних процесів в колах утримуючої котушки. Для відключення швидкодіючого вимикача необхідно, щоб тривалість збільшення струму уставки була більше якогось часу. Для ВАБ-43 цей час складає до 8 мс. Тому швидкодіючі вимикачі більш перешкодостійкі ніж мікропроцесорні захисти. Для поліпшення характеристик мікропроцесорні захисти повинні бути дійсно інтелектуальними приладами, а не просто набором окремих захистів.

Ранжування об'єктів по параметру електроспоживання для тягових підстанцій

Денисюк С.П., Василенко В.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Прогнозування електроспоживання для тягових підстанцій необхідне для підвищення ефективності їх функціонування з точки зору економічності, надійності та якості електричної енергії. Існуючі методи прогнозування електричних навантажень формалізують розрахунки на основі класичних уявлень електротехніки та методах математичної статистики. Але розрахунок прогнозу електроспоживання, що спирається тільки на класичний апарат, не може забезпечити достатню точність при прогнозуванні процесів в сучасних умовах в великих електроенергетичних системах.

Одночасно із сформованими системними дослідженнями технічних систем доцільно їх вивчення як спільнот виробів – техноценозів, що передбачає застосування ряду понять, які використовуються об'єктивною закономірністю, що має загальний характер.

Термін «техноценоз» і ценологічний підхід до дослідження складних технічних систем запропонований професором Б.І. Кудріним, де техноценоз визначається як штучна система, спільнота об'єктів зі слабкими зв'язками і єдиними цілями, обмежена в часі і просторі. Універсальність ценологічного підходу і сформульованого на його основі закону оптимальної побудови техноценозу дозволяє застосовувати їх для тягових підстанцій. Дослідження техноценозу – це дослідження цілого, конкретного об'єкта, що має інтегральні властивості, дослідження, що припускає рух від цілого до частин при вивченні дуже складних імовірнісних технічних систем.

Оцінити характер впливу «сплесків» або «провалів» електроспоживання дозволяє застосування методу ранжування об'єктів по параметру електроспоживання та аналіз зміни їх рангів в тимчасовому розрізі шляхом побудови структурно-топологічної динаміки. Багаторічний досвід дослідження техноценозів в різних областях людської діяльності показує що, оптимальною є така конфігурація системи, яка аналітично описується двопараметричним апроксимуючим виразом рангового розподілу. Енергоспоживання об'єкта $W(x)$ у якості основи для побудови рангового параметричного H -розподілу визначається, як:

$$W(x) = \frac{W_1}{r^\beta},$$

де r – ранг об'єкту; $\beta = \log_r \frac{W_1}{W(x)}$ – показник, який визначає ступінь крутиз-

ни кривої розподілу; $W_1 = W_{\max}(1)$ – константа, за яку приймається максимальне значення найбільш крупного споживача. Найкращим вважається такий стан техноценозу, при якому параметр знаходиться в межах $0,5 \leq \beta \leq 1,5$. Відповідно до зазначеного виразу можна визначити деякий діапазон оптимальних станів системи і графічно відобразити його у вигляді якоїсь смуги на графіку рангового розподілу.

Прогнозування електроспоживання для тягових підстанцій за цим методом відрізняється від контрольних прогнозів по найбільш поширеним екстраполяційним методам. Помилка прогнозу становить 2 ... 3% від фактичного значення. Перевага методу полягає також в тому, що він не вимагає залучення великої кількості даних, як це потрібно в багатofакторних моделях. Застосування запропонованого методу при прогнозуванні електро-споживання для тягових підстанцій дозволить знаходити нові шляхи у вирішенні питань енергозбереження та підвищити ефективність їх функціонування з точки зору економічності, надійності та якості електричної енергії.

Обмінні процеси в системах електрифікованого транспорту

Денисюк С.П., Горенко Д.С., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Електромагнітний вплив на рейкові кола суміжної колії не досліджується, це пов'язано з тим, що при типовому обладнанні залізничних дільниць з однаковими тяговими мережами на сусідніх коліях, електромагнітний вплив однієї колії на іншу майже не впливає на функціональну безпеку рейкових кіл. Зовсім інша ситуація для електрифікованих залізниць з різним родом тягового струму на сусідніх коліях при їх зближенні і паралельному проходженні.

Тяговий струм колії змінного струму частотою 50 Гц та його гармоніки в тональному діапазоні частот наводять індуктивну електрорушійна сила і струм в рейковій колії з електротягою постійного струму. Враховуючи, що рейкові кола на дільницях з тягою постійного струму мають частоту сигнального струму 50 Гц, електромагнітний вплив завод від тягової мережі змінного струму може викликати небезпечний або збурювальний збій в роботі рейкових кіл.

Для зменшення електромагнітного впливу електрифікованих залізниць на лінії зв'язку використовують спеціальні поглинаючі трансформатори, автотрансформатори, а також екрануючий провід. До 10 % збоїв роботи рейкового кола припадає на електромагнітні завади. Основними джерелами потужних електромагнітних завод на електрифікованих залізницях є завади, що генеруються силовими тяговим та допоміжним електроустаткуванням електрорухомого складу.

В якості приводів електрорухомого складу використовують асинхронні тягові двигуни з імпульсними інверторами, що створюють завади в широкому діапазоні частот і збільшують чисельність збоїв в роботі рейкового кола. Класичний підхід до поняття обмінної потужності, що використовується для лінійних електричних кіл є показником наявності обмінну електромагнітної енергії між елементами електричних кіл.

Для таких кіл основною ознакою наявності обмінних процесів є знак миттєвої потужності $p(t) = i(t)u(t) > 0$. В мережах з постійним струмом, таких як мережі електрифікованого транспорту, $p(t) > 0$ протягом всього періоду, що означає відсутність обмінних процесів. Але оскільки силові тягові мережі мають у своєму складі потужні нелінійні реактивні елементи (індуктивності обмоток якоря, головних та додаткових полюсів тягового двигу-

на, індуктивні шунти, згладжуючий реактор тягової підстанції, тягова мережа і т.п.), то обмінні процеси все ж відбуваються.

Аналіз обмінних процесів через загальний перетин «Генератор – Навантаження», після повного еквівалентування схеми, не дозволяє повноцінно оцінити перетоки енергії в трифазній системі в цілому та в генераторі зокрема. Такий підхід враховує лише енергію, що генерує трифазний генератор та споживає трифазне навантаження. Аналіз представленої моделі показує необхідність деталізувати обмінні процеси по кожній генератора і навантаження та між фазами. Реалізація концепції Smart Grid має на меті досягнення цільових показників стосовно керування критичними перетоками в енергосистемі, зниження пікових навантажень та підвищення надійності електропостачання, підвищення системної ефективності використання енергетичних ресурсів, підвищення частки використання розосереджених та відновлювальних джерел електроенергії.

Аналіз стану споживання електричної енергії на залізничному транспорті

Друбецька Т.І., Федоренко О.О., Чичиль О.О., Скрипник О.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день система контролю і аналізу електроспоживання на залізничному транспорті ґрунтується на його нормуванні в розрахунку на одиницю тонно-кілометрової роботи. Для визначення доцільності застосування зазначеного підходу виконано аналіз залежності витрати електроенергії на тягу поїздів і на нетягові потреби від обсягу тонно-кілометрової роботи з використанням методів кореляційного аналізу.

Була досліджена динаміка зміни витрат електроенергії на тягу поїздів і нетягові потреби, а також обсягу виконаної тонно-кілометрової роботи за два роки по мережі залізниць.

Розраховано коефіцієнти кореляції, що характеризують залежність витрати електроенергії від обсягу тонно-кілометрової роботи по мережі залізниць, значення яких для електроспоживання на тягу поїздів склало 0,59, а для електроспоживання на нетягові потреби - (- 0,37). За підсумками перевірки значущості отриманих коефіцієнтів можна зробити висновок про те, що витрата електроенергії на тягу поїздів в значній мірі залежить від обсягу тонно-кілометрової роботи, а для витрат на нетягові потреби зазначена залежність не є значущою.

В результаті досліджень отримано, що якщо витрата електроенергії на тягу поїздів в значній мірі залежить від тонно-кілометрової роботи з коефіцієнтом кореляції, що знаходяться в межах від 0,55 до 0,84 для різних залізниць, то зазначена залежність для електроспоживання на нетягових потреби не є статистично значущою: для окремих залізниць коефіцієнт кореляції приймає негативні значення і знаходиться в межах від -0,43 до 0,13.

Аналіз, виконаний для найбільш енергоємних господарств залізниць, також свідчить про низький ступінь впливу тонно-кілометрової роботи на електроспоживання на нетягові потреби; при цьому коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,01 для колійного господарства до 0,40 для локомотивного господарства.

В межах окремих структурних підрозділів також спостерігається відсутність значимої залежності між витратою електроенергії на нетягові потреби і обсягом тонно-кілометрової роботи. При цьому коефіцієнт кореляції в усіх випадках не перевищує 0,14.

На підставі результатів отриманих досліджень можна зробити висновок про те, що використання питомої витрати електроенергії на одиницю тонно-кілометрової роботи в якості основного показника системи контролю електроспоживання на нетягові потреби не представляється доцільним з огляду на низький ступінь кореляції між зазначеними величинами.

Аналіз існуючих способів стикування електрифікованих ділянок

Дьяков В. О., Звягінцев С. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

У зв'язку з розвитком електрифікованих залізниць актуальним є питання про спосіб стикування різних систем струму і напруги при наскрізному русі поїздів по ділянках двох систем струму або по ділянках одного роду струму, але різного рівня напруги в контактній мережі

Історично склалося так, що електрифікація починалася на окремих ділянках існуючої на той час мережі залізниць відповідно до рівня техніки і місцевих умов. В даний час в міжнародних сполученнях тільки в межах Європи використовуються п'ять різних систем тягового електропостачання, географія яких різноманітна. Це викликало необхідність стикування електрифікованих ділянок на різних системах струму, напруги або частоти. При цьому виникло декілька варіантів вирішення питання організації наскрізного руху поїздів в зоні стикування електрифікованих ділянок. Основними способами вирішення цієї проблеми є використання станцій стикування або застосування багатосистемного електрорухомого складу з використанням нейтральних вставок.

Станції стикування з'явилися на початку 50 років минулого століття. У Франції на станції Доль здійснювалося стикування електрифікованих ділянок змінного (25 кВ, 50 Гц) і постійного (1500 В) струмів. У Швейцарії на станції Женева - змінного струму (15000 В, 16,7 Гц) і постійного струму (1500 В). В Італії на станціях Чіассо і Домодосолла - змінного струму (15000 В, 16,7 Гц) і постійного струму (3000 В). В той же час в Європі були розроблені двосистемні електровози, які суттєво знизили експлуатаційні витрати при наскрізному русі поїздів по ділянках струморозподілу. В цьому випадку замість громіздких станцій стикування почали використовувати нейтральні вставки.

Багатосистемні електровози і електропоїзди застосовують для забезпечення руху без зміни локомотивів по електрифікованих ділянках з різними системами електричної тяги, наприклад: постійного струму при напрузі 1500 і 3000 В, змінного струму з різними частотою і напругою, постійного струму і декількома системами змінного струму.

В Україні і до теперішнього часу через відсутність достатньої кількості двосистемного електрорухомого складу стикування ділянок електрифікованих постійним і змінним струмом здійснюється за допомогою станцій стикування (Львів, Тимкове, Лозова, П'ятихатки-Стикова).

В той же час в Україні з 60-х років минулого століття експлуатуються двосистемні електровози (ВЛ 82), які зараз модернізовані (ВЛ 82М) і разом з двосистемними електропоїздами вітчизняного і зарубіжного виробництва експлуатуються на електрифікованих ділянках різного роду струму (Харків - Куп'янськ, Харків - Полтава та ін.) з використанням нейтральних вставок. Однак при проході нейтральних вставок без відключення струму та при інших аварійних ситуаціях може відбуватися пошкодження ізоляції нейтральних вставок і перепал контактних проводів.

Для запобігання цих негативних явищ можна використовувати закордонний досвід. Наприклад, в Австралії, де експлуатується негабаритний автомобільний транспорт над переїздом відсутня контактна підвіска. Цю ділянку електрорухомий склад проходить по інерції (в режимі вибігу) з піднятим струмоприймачем. Такий варіант повністю виключає перекриття ізолюючого проміжку і пошкодження контактної мережі. Аналогічну конструкцію спряження ділянок постійного та змінного струму рекомендується використовувати і на Україні замість традиційних нейтральних вставок.

Експериментальне визначення характеристик просторово-ромбовидної контактної підвіски

Дьяков В. О., О.Ю. Сушко, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

У штучних спорудах (мости, віадуки, шляхопроводи, тунелі, пішохідні та сигнальні містки та інше) повинні бути витримані встановлені відстані підвішування контактного проводу над рівнем рівня головки рейки та частин контактної мережі, що перебувають під напругою, до заземлених частин споруди.

Особливістю конструкції контактної мережі на мостах з їздою понизу та в тунелях є те, що вона повинна бути виконана з малою конструктивною висотою. Це досягається зменшенням довжини прогону до 10...25 м. Кріплення несучого тросу забезпечується різними способами та залежить від конструкції мосту та тунелю. Якщо прохід ланцюгової контактної підвіски з малою конструктивною висотою не може бути здійснено, використовують просту контактну підвіску, але обов'язково з двома та більше контактними проводами. Крім того в тунелях та на містках з їздою понизу на сьогодні використовують спеціальні контактні підвіски (просторово-ромбовидну, в вигляді жорстких шин та інше).

Просторово-ромбовидна автокомпенсована контактна підвіска представляє собою ланцюгову контактну підвіску з двома несучими тросами та двома контактними проводами, котрі розташовані в вигляді ромбів відносно осі колії. Відмінною рисою такої контактної підвіски є те, що вона являється автокомпенсованою, це знімає всі обмеження по довжині анкерної ділянки. При закріпленні проводів на анкерних опорах не треба встановлювати компенсатори, це спрощує монтаж в штучних спорудах з обмеженими габаритами. Вона має малу конструктивну висоту, що дозволяє її використовувати в штучних спорудах з обмеженими габаритами.

В зв'язку з цим великий інтерес представляє експериментальне визначення характеристик просторово-ромбовидної контактної підвіски. Для цього в лабораторії контактної мережі університету була змонтована модель просторово-ромбовидної автокомпенсованої контактної підвіски. Модель являє собою один проліт, в якому можливо моделювати різні по конструкції просторово-ромбовидні контактні підвіски та одинарні ланцюгові контактні підвіски. Результати дослідження показали, що у просторово-ромбовидної контактної підвіски з двома ромбами в прольоті вирівнюється жорсткість підвіски та спостерігаються менші зміни натягу при змінах температури у порівнянні з просторово-ромбовидною контактною підвіскою з одним ромбом в прольоті та одинарною контактною підвіскою. Хоча в умовах лабораторії можна лише дуже наближено моделювати реальні процеси, які відбуваються при натурних (природних) умовах, однак такі дослідження підвищують якість навчального процесу при вивченні характеристик реальних контактних підвісок.

Експериментальне визначення зони захисту блискавковідводів

Дьяков В. О., Шевченко О. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Захист пристроїв тягового електропостачання від атмосферних перенапруг дуже важливе питання в експлуатації обладнання, так як перенапруження дуже небезпечні.

Поки неможливо передбачити, яким шляхом буде поширюватися блискавка і куди потрапить. Відомі випадки, коли блискавка потрапляла в основу блискавковідводу. Не ясно, як за час розряду, що триває тисячні частки секунди, вона встигає зібрати заряди з мільярдів крапельок в грозовій хмарі.

У зв'язку з цим великий інтерес представляє вивчення розвитку блискавки і способів захисту від неї дослідним шляхом на моделях.

В даний час захист від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою високих вертикальних стрижневих блискавковідводів і тросових блискавковідводів над проводами ПЛ напругою 110 кВ і вище. Блискавковідвід орієнтує заряд блискавки на себе, відводячи його від об'єкта, що захищається, в землю.

Стрижневі блискавковідводи встановлюють вертикально. Вони повинні бути вище об'єктів, що захищаються. Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу - простір, захищений від прямих ударів блискавки. Ця зона має вигляд конуса, утворюючи якого має вигляд кривої лінії. При великій протяжності або ширині об'єкта встановлюють кілька блискавковідводів. Відстань між блискавковідводом і об'єктом, що захищається має бути більше 5 м.

Для експериментального визначення зони захисту стрижневого блискавковідводу в високовольтній лабораторії університету була створена модель. В якості моделі блискавки використовувався іскровий розряд в міжелектродному проміжку стрижень – площина.

Під час проведення дослідів стрижень імітував собою кінець лідерного розряду блискавки, тому на нього подавався негативний потенціал від високовольтної випробувальної установки.

Експериментальне визначення зони захисту блискавковідводу полягала в наступному: модель блискавковідводу переміщалася відносно моделі об'єкта, що захищається, в горизонтальному напрямку.

В результаті визначалася максимальна відстань між об'єктом, що захищається, і блискавковідводом, при якому об'єкт не уражається іскровим розрядом. Ця відстань є радіусом зони захисту блискавковідводу на висоті . Побудова зони захисту блискавковідводу здійснювалася після визначення для різних по висоті моделей об'єктів, що захищаються.

Результати експериментального визначення зони захисту стрижневого блискавковідводу виконані на моделях в високовольтній лабораторії університету практично збіглися з результатами розрахунку по отриманій емпіричній розрахунковій формулі.

В результаті проведених досліджень експериментального визначення зони захисту стрижневого блискавковідводу на моделі в високовольтній лабораторії університету можна зробити висновок про те, що отримана в лабораторії зона захисту блискавковідводу носить умовний характер. Це обумовлено тим, що в лабораторних умовах можна тільки дуже наближено моделювати реальні процеси, які відбуваються при розрядах блискавки в натурних (природних) умовах. Однак такі дослідження істотно підвищують якість навчального процесу при вивченні способів захисту від прямих ударів блискавки пристроїв тягового електропостачання.

Дослідження ефективності застосування фотоелектричних джерел електроенергії в системах тягового електропостачання

Євглевський І.В., Лавренюк О.С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Сонячний трекер - це електромеханічний пристрій, що відслідковує переміщення Сонця на небосхилі та повертає фотоелектричну панель на потрібний кут вслід за його рухом. Джерелом живлення для роботи трекера є сама сонячна панель, тому він є повністю автономним.

За конструкцією сонячний трекер не є складним - пара фотоелементів, що мають кут між собою в 90 градусів, видають однаковий рівень напруги лише за умовою, якщо Сонце

знаходиться на бісектрисі цього кута. При різниці освітленості, електронний пристрій дає команду електродвигуну рушити панель поки рівні сигналів від датчиків не стануть однаковими.

В залежності від кількості ступеней свободи руху сонячні трекери бувають одно- та двох-координатними. Двох-координатні забезпечують вільний рух сонячної панелі та гарантують знаходження Сонця на перпендикулярі до площини панелі. Однокоординатні забезпечують рух світила у площині, що є перпендикулярною до фотопанелі. Використання рухомих сонячних електростанцій дає можливість перетворювати фотоелектричним елементом більше електроенергії на 35-45%.

Можливість застосування сонячних електростанцій дає можливість виробляти чисту енергію з сонячної радіації і передавати її в діючі системи електропередачі, але виникає питання використовувати цю енергію в не сонячні дні або при недостатній кількості сонячної активності, для нормальної роботи енергетичної системи.

Основним рішенням для цієї проблеми полягає в накопиченні виробленої електроенергії і збереження. Зберігання і перетворення можливо здійснювати безпосередньо на самих підстанціях з допомогою системи «Powerpack», що дає можливість одній установці накопичувати електроенергію до 200 кВт·год, дані пристрій дає можливість збирати їх в великі компактні групи для більш великої потужності яка може досягати сотні мегават.

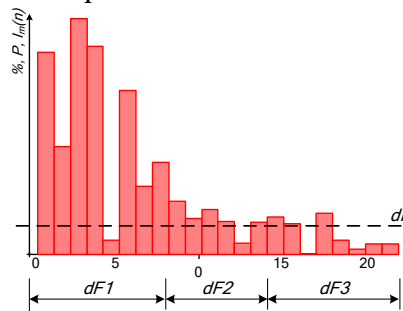
Можливість самих модулів розміщування біля самих сонячних електростанцій, також можливість об'єднання їх з вітровими установками для більш надійної роботи системи електропередачі. Для передачі електроенергії з модулів «Powerpack» в лінії ЛЕП використовується система «Smart Grid», що дасть можливість для кращого моніторингу системи і більш правильне і ефективне використання електроенергії на тих ділянках споживання, де це потрібно.

Визначення ємності гібридного накопичувача електричної енергії

Замаруєв В.В., Сτισло Б.О. (НТУ «ХПІ»)

Нерівномірність споживання з контактної мережі електричної енергії під час проїзду рухомого складу є однією з відомих проблем електропостачання. Підключення накопичувачів електричної енергії до контактної мережі або безпосередньо до споживача дозволяє істотно згладити режим завантаження системи електропостачання, забезпечити утилізацію енергії рекуперації, інтегрувати в існуючу мережу джерела відновлюваної енергії, в результаті чого, поліпшуються енергетичні показники системи електропостачання в цілому.

На даний час відома досить велика кількість накопичувачів енергії, що відрізняються як за видом енергії, що запасається, так і за конструктивним виконанням. Кожен тип накопичувача енергії має свої режими роботи, характерні конструктивні, енергетичні показники. Сукупність цих характеристик визначає раціональні області їх експлуатації.



Однією з істотних енергетичних характеристик накопичувача електричної енергії є діапазон частот, в якому можливий *ефективний обмін енергією* з накопичувачем (частотні ха-

рактеристики). Ці характеристики різні для існуючих накопичувачів електричної енергії і, як правило, не перекриваються між собою, що дозволяє зробити висновок про доцільність застосування гібридних накопичувачів електричної енергії (складаються з накопичувачів з різними частотними характеристиками) для компенсації пульсацій споживаної потужності. Таке рішення дозволяє, в першу чергу, розширити частотний діапазон роботи накопичувачів, забезпечивши ефективний обмін енергії в кожній з частотних областей. Однак, для проектування гібридного накопичувача необхідно розробити методи, що дозволяють визначити встановлену потужність кожного з типів накопичувачів, що використовуються.

Пропонований метод ґрунтується на аналізі існуючих статистичних даних струму і напруги контактної мережі в місці підключення до неї споживача. Маючи інформаційний масив вимірювань споживаної нелінійним навантаженням потужності, в спектральному складі струмів можна виділити частотні діапазони ефективної роботи накопичувачів різних типів ($dF1 - dF3$ рис. 1). Очевидно, що отримана спектрограма при досить великій виборці даних буде адекватно відображати вплив навантаження на контактну мережу на контрольованій ділянці.

Повна ємність гібридного накопичувача визначається інтегральною сумою виборок споживаного з мережі струму в заданому діапазоні частот. Задаючись в спектрограмі діапазоном частот і мінімально значущою амплітудою гармоніки (dI), можна дати оцінку величині енергії, яка має бути прийнята (віддана) конкретним типом накопичувача. Таким чином, процентне співвідношення ємностей кожного з типів накопичувачів визначається як відношення інтегральної суми амплітуд гармонік у всьому частотному діапазоні до інтегральної суми амплітуд гармонік в заданому частотному діапазоні dF .

Розширення терміну «коефіцієнт потужності» для систем постійного струму

Замаруєв В.В., Стисло Б.О. (НТУ «ХПІ»)

Підвищена увага до проблем енергозбереження нерозривно пов'язана з необхідністю аналізу потужності, що споживається пристроями. Початок розвитку теорії потужності для систем змінного струму було покладено ще наприкінці 19 сторіччя, оскільки основна частина електричної енергії виробляється і споживається на змінному струмі. З тих пір, як правило, теорія потужності набувала розвитку як відповідь на виникаючі питання, що стосуються обліку потужності споживання, зниження втрат в системах енергопостачання, підвищення якості електроенергії й т.і.

Системи електричного транспорту використовують як змінну, так і постійну напругу. Їх особливістю є нерівномірний графік споживання енергії в часі, можливість повернення надлишкової енергії в мережу живлення. Без можливості аналізу процесів в системах енергопостачання неможливі розробка і проведення комплексу заходів щодо підвищення енергоефективності системи. Однак, для систем постійного струму до теперішнього часу відсутні коефіцієнти, що визначали б енергетичну ефективність споживача електричної енергії за аналогією до коефіцієнту потужності, що використовується в системах змінного струму.

Велика різноманітність теорій потужності систем змінного струму дає можливість використовувати їх теоретичні напрацювання для аналізу процесів в системах постійного струму. Не зупиняючись на несуттєвих в даному контексті моментах, можна відзначити, що в роботах К. Будяну (С. Budeanu) і О.О. Маєвського крім повної і активної потужності, введені поняття реактивної потужності і потужності спотворень. Загальноприйнятий термін «коефіцієнт потужності» (power factor), так само враховує коефіцієнт зсуву та вплив гармонік струму.

Особлива увага впливу потужності спотворень і гармонічного складу струму на втрати електричної енергії в системах електропостачання надається останні 30-50 років, що пов'язано з широким розповсюдженням напівпровідникових перетворювачів електричної енергії.

З формальної точки зору, система постійного струму є однофазною системою з нульовою частотою основної гармоніки напруги. Застосовуючи зазначені параметри системи в стандартних методиках вимірювання потужності в умовах синусоїдальних, несинусоїдальних збалансованих і незбалансованих систем, можна зробити висновок про відсутність в системах постійного струму реактивної потужності і наявності активної потужності і потужності спотворень. Зроблені висновки підтверджуються аналізом експериментальних даних, отриманих в системах електричного транспорту постійного струму і проведеним в роботах В.Г. Сиченка та М.О. Костіна.

У методиках вимірювання потужності необхідно в якості основної гармоніки використовувати середнє значення нульової гармоніки напруги або струму. Гармонічний склад струму визначається шляхом аналізу спектрограми, отриманої за результатами вимірювань струму при проходженні рухомим складом заданої ділянки. Коефіцієнт нелінійних спотворень струму THDI визначається відносно нульової гармоніки струму. У цьому випадку коефіцієнт потужності дорівнює

$$PF=1/(1+THDI^2)^{1/2}.$$

Потужність спотворень, враховуючи лише спотворення струму, визначається за формулою

$$D_I=V_0I_H=P_0(THDI),$$

де V_0 – діюче значення нульової гармоніки напруги, I_H – діюче значення гармонік змінного струму, P_0 – активна потужність, що споживається.

Відоме значення потужності спотворень дозволяє визначити відповідні втрати в системі електропостачання і прийняти рішення про доцільність встановлення накопичувачів електричної енергії, а можливість визначення спектральної щільності потужності спотворень – вибирати доцільну структуру гібридного накопичувача енергії.

Коефіцієнт потужності в системі постійного струму, як і в системі змінного струму, однозначно визначає енергетичну ефективність об'єкта. Отримані результати дозволяють використовувати термін «коефіцієнт потужності», що враховує гармонійний склад струму, в системах постійного струму.

Моделювання впливу системи тягового електропостачання змінного струму на лінію «два проводи-рейка»

Земський Д.Р., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Електропостачання нетягових споживачів від трансформаторів тягових підстанцій супроводжується порушенням електромагнітної сумісності між електротехнічним устаткуванням споживача та системою тяги змінного струму. Результати експериментальних досліджень проведених на ділянках змінного струму підтверджують, що якість електричної енергії у лінії ДПР не відповідає встановленим вимогам. Особливо погіршується симетрія векторів напруги у кінці лінії у порівнянні із напругою на шинах тягової підстанції. Основними причинами неналежної якості електроенергії у лінії ДПР є гальванічний зв'язок останньої із системою тягового електропостачання, неоднорідність самої лінії та магнітний вплив тягової мережі.

Продовження досліджень направлених на збільшення ефективності передачі електричної енергії та її якості у лініях ДПР потребує використання моделі системи тягового електропостачання та суміжної з нею лінії. Також проблематичним є проведення експериментальних досліджень на реальному об'єкті, оскільки це вимагає втручання у комерційну діяльність залізниці та у нормальний режим роботи обладнання нетягових споживачів.

Врахування умов роботи системи тягового електропостачання, зокрема несиметрії напруги на шинах підстанції, параметрів лінії ДПР, опорів тягової мережі та конструкції трансформаторів потребує побудови моделі у фазних координатах. Дотепер метод фазних координат не отримав широкого застосування, що пов'язується із обмеженим ресурсом обчислювальної техніки у минулому, проте простота формування моделі для експериментів представляє суттєву перевагу цього підходу у порівнянні із методом симетричних складових. Метод фазних координат зустрічається у роботах Попова В. О., Черніна А. Б., Лосева С. Б. та інших авторів [1...4]. Сьогодні розвиток технології та вдосконалення алгоритмів розрахунку дозволяє отримати задовільну швидкість розрахунку складних електричних схем, у тому числі побудованих у фазних координатах. Значний внесок у розвиток методу фазних координат із прив'язкою до роботи системи тягового електропостачання було зроблено науковцями Закарюкіним В. П. та Крюковим О. В. Авторським колективом розроблений підхід до моделювання роботи системи електропостачання у несиметричних та несинусоїдних режимах.

Наступним важливим аспектом у моделюванні сумісної роботи лінії ДПР та тягової мережі є врахування зміни струму електрорухомого складу у просторі та часі. З цією метою доцільно застосовувати підхід розроблений у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту, який базується на визначенні функцій опору тягової мережі у залежності від положення тягового навантаження на міжпідстанційній зоні. Суттєвою особливістю є представлення тягового навантаження споживаною потужністю, що, на відміну від традиційного зображення електровоза джерелом струму, дозволяє визначити дійсне значення напруги на струмоприймачеві. Застосування цього методу дозволяє формалізувати розрахунки електричних величин аналітичними виразами визначених для кожного типу схеми живлення тягової мережі. Специфіка розрахунку системи тяги змінного струму потребує провести модифікацією розробленого методу, що дасть можливість визначити магнітний вплив тягового навантаження на лінію ДПР.

1. Попов В. А., Чернин А. Б. Метод расчета токов к. з. на линиях, питающих тяговые подстанции 25 кВ. — Электричество, 1979, № 1, С. 6-14.

2. Лосев С. Б. Об использовании фазных координат при расчете сложносимметричных режимов. — Электричество, 1979, № 1, С. 15-23.

3. Laughton M.A. Analysis of unbalanced polyphase networks by the method of phase coordinates. Part 1. System representation in phase frame of reference // Proc. IEEE, 1968, v. 115, № 8, pp. 1163-1172.

4. Солдатов В. А., Баранов А. А. Аналитическая модель трансформаторов «Звезда треугольник» и «Звезда звезда с нулем» в фазных координатах // Достижения науки и техники АПК. 2011, С. 79-79.

5. Закарюкин В.П. Сложносимметричные режимы электрических систем / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. – 273 с.

Аналіз децентралізованих способів підсилення системи тягового електропостачання постійного струму

Г. О. Зюзь, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день в світі, згідно зі стратегією розвитку залізничного транспорту, з кожним роком зростає вантажообіг. Велика частина вантажоперевезень припадає на електрифікований залізничний транспорт, і це за умови, що більшість електрифікованих залізничних ліній було прокладено в минулому столітті і розраховане на менші обсяги транспортування. Поява сучасних великовагових електровозів і збільшення добових розмірів руху значно збільшує навантаження на всі елементи системи тягового електропостачання, що в свою чергу призводить до обмеження пропускної здатності системи тягового електропостачання. В першу чергу це відноситься до вантажонапружених ділянок, електрифікованих на постійному струмі 3 кВ. До числа таких обмежень відноситься зниження напруги на струмоприймачі електровоза нижче допустимого, що в свою чергу приводить до збільшення втрат потужності в тяговій мережі і як наслідок нагрів проводів контактної мережі, що сприяє втраті їх механічної міцності. Отже при організації швидкісного і великовагового руху на існуючих лініях електропостачання, потрібне посилення електротягової мережі.

Такі практичні методи підсилення системи як: встановлення пунктів паралельного з'єднання, збільшення контактної підвіски, використання сучасних матеріалів, застосування сучасних перетворювачів, автоматичне регулювання на тягових підстанціях не дають потрібного ефекту навіть при комплексному поєднанні цих методів, а якщо взяти до уваги, що коефіцієнт завантаження тягових підстанцій приймає досить мале значення (15-20%), то такий підхід до даної проблеми не принесе бажаного результату. Головним недоліком цих методів є те, що вони застосовуються у складі централізації системи живлення.

В умовах збереження рівня напруги 3 кВ значне поліпшення якості енергозабезпечення тяги може бути досягнуто при використанні альтернативної, по відношенню до централізованого живлення, системи розподіленого живлення. Така система живлення, за рахунок перерозподілу потужності, при значно меншому перетині проводів контактної мережі забезпечує зменшення втрат енергії та підтримання необхідного рівня напруги в контактній мережі. За рахунок невеликої потужності децентралізованих джерел, у пристроях електропостачання збільшується коефіцієнт використання потужності основного енергетичного обладнання. Ці якості є найголовнішими перевагами системи розподіленого живлення. До існуючих методів, які направлені на досягнення концепції децентралізованої системи відносять такі: спорудження на міжпідстанційній зоні проміжних повноцінних підстанцій; встановлення пунктів підвищення напруги (ППН); використання «буферної» системи живлення; використання накопичувачів електричної енергії для забезпечення максимального ефекту від рекуперації. Загальним недоліком всіх методів є значні капіталовкладення. Окрім цього кожному з них притаманні свої недоліки пов'язані з технічними особливостями: встановлення проміжних тягових підстанцій призводить до ще більшого зниження коефіцієнта використання режимної потужності; використання ППН призведе до значних втрат в силових напівпровідникових елементах за рахунок багатоступінчатого процесу перетворення електричної енергії; застосування буферної системи тягового електропостачання (БСТЕ) зменшує можливість застосування рекуперації на 0,8 ... 11,5 %; накопичувачі електричної енергії повною мірою розкривають свій потенціал лише на ділянках з активним використанням режиму рекуперативного гальмування.

Зважаючи на вищесказане постає питання необхідності впровадження більш новітнього підходу до вирішення проблеми підсилення, який передбачає застосування більш новітніх технологій розподіленого живлення.

Развитие автоматизированных систем мониторинга дислокации тягового подвижного состава на основе данных систем спутниковой навигации

Иванов И.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Задача определения достоверной информации о текущей дислокации тягового подвижного состава (ПС) чрезвычайно важна, она является первоисточником для множества оперативных и учетных операций перевозочного процесса. Эксплуатируемые системы железнодорожной автоматики ПАТ УЗ, не позволяют достичь необходимого уровня достоверности и формируют поездные события с временной погрешностью в диапазоне 30 минут, человеческий фактор и ручной ввод данных не позволяют оптимизировать этот процесс. Такие погрешности приводят к нарушению режимных карт ведения поездов, наложению ниток графика, что в конечном результате может способствовать возникновению транспортных катастроф. С учетом активного развития бортовых интеллектуальных систем - на сегодняшний день ПАТ УЗ имеет возможность создания и внедрения автоматизированной системы мониторинга за дислокацией подвижных единиц, основанной на достоверных оперативных данных, полученных от систем спутниковой навигации (СНН).

Большая часть локомотивного парка ПАТ УЗ оборудована бортовыми комплексами с интегрированными модулями GPS, которые обеспечивают прием и предварительную обработку данных от систем GPS (данных от различных измерительных локомотивных устройств), и их дальнейшую передачу на центральный сервер по каналам GPRS/GSM связи. Для обеспечения необходимого уровня безопасности информация передается по защищенным каналам на сервер УЗ, находящийся в детерминированной зоне ПАТ УЗ. После приема информационного пакета сервер производит процедуры проверки целостности данных пакета и генерирует событие об изменении дислокации в системе АСК ВП УЗ-Е. Таким образом, достигается необходимая надежность в передаче информационных пакетов. В случае отсутствия связи бортовой комплекс накапливает информационные пакеты до момента восстановления подключения. База данных системы расположена в локальной среде ПАТ УЗ и обеспечивает хранение и контролируемый доступ к архивным данным о передвижении локомотивов.

Рассматриваются вопросы совершенствования средств автоматизации процедур задачи управления перевозочным процессом. При этом отдельный поток сервера обеспечивает непрерывную обработку поступающих данных с целью выделения информационно важных событий, характеризующих передвижение ПС. Для работы пользователей с системой предусматривается специализированное программное обеспечение, которое организует доступ к архивным и оперативным данным системы.

Внедрение подобной системы в информационную среду АСК ВП УЗ-Е (автоматизированный системный комплекс управления грузовыми перевозками) обеспечит информирование диспетчерского персонала, ответственного за организацию и безопасность перевозочного процесса, достоверной информацией о дислокации подвижных единиц в режиме реального времени, а также автоматизирует процесс ведения учетных сообщений о работе подвижных единиц. Данные системы могут быть использованы для совершенствования системы составления и эксплуатации режимных карт управления локомотивами, а также предоставит возможность моделирования и прогнозирования работы железнодорожных станций в автоматическом режиме.

Варіанти удосконалення схемотехніки підсилення тягової мережі постійного струму при впровадженні швидкісного руху

Карпенко В.О., Ляшук В.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Використання альтернативних видів палива та відновлюваних джерел енергії – надзвичайно актуальний та надійний напрямок в опалювальній сфері на сьогоднішній день. Все частіше для опалення промислових об'єктів використовуються теплові насоси. Тепловий насос — установка, що здійснює перенесення теплової енергії з однієї точки (джерела тепла) до іншої (споживачу тепла), дія якої базується на зворотному циклі Карно.

Робота теплового насоса передбачає використання обладнання як опалювального котла для обігріву, і як кондиціонера для охолодження. І все це може тривати протягом 30 років, взимку - на підігрів, влітку - на охолодження. Унікальність тепло-насосного обладнання полягає в можливості використання природних джерел відбору тепла, що і є основою енергозберігаючих технологій. Використовуючи тепло повітря, водойм або ґрунтових вод, ви вдаєтеся до безпечного способу відбору тепла як для людини, так і для навколишнього середовища.

Принцип дії теплового насоса – це взаємодія компресора та конденсатора. Теплоносій закачується в теплову установку із землі або ґрунтових вод. За допомогою такого підходу низько потенційне тепло передається по трубопровідній системі до користувача. Ланцюжок всіх механізмів приводиться в дію за допомогою електричного генератора (компресора). Таким чином, витрати електроенергії йдуть виключно на перекачування теплоносія.

Проекти з встановлення теплових насосів в Україні наразі дуже поодинокі та нечисленні і впроваджуються в основному завдяки приватним інвесторам. Приклади вже реалізованих проєктів: житлові будинки у містах Києві, Полтаві, Кропивницькому, Дніпрі, а також автосалони, теплиці, автомийки, виробничі цехи.

Як правило, на тягових підстанціях є значні обсяги паразитного тепла, яке можна використовувати у корисних цілях за допомогою теплового насоса. У середньому окупність проєкту з впровадження тепло-насосного обладнання становить 2-3 роки. Теплові насоси в Україні (промислового типу) виготовляються потужністю від 300 кВт до 1-2 МВт (потужність не обмежується) і нагрівають теплоносій до 65°C.

Одинадцять років працює тепловий насос на південній залізниці України. Ґрунтовий тепловий насос, був встановлений восени 2006 року. Тепловий насос потужністю 40 кВт, шведського виробництва, замінив дві вугільні топкові котли на станції «Залютіно». Ефект перевищив прогнози і розрахунки: економія склала 110 тисяч гривень щорічно при первинному вкладенні 300 тисяч гривень. Модернізація системи опалення окупилася всього за 3 роки.

Як показує практичний досвід, велике значення для роботи промислового теплового насоса має можливість управління потужністю. Це пов'язано з тим, що навантаження, яке необхідно для забезпечення заданих параметрів, протягом опалювального періоду може значно коливатися в залежності від зміни температури навколишнього середовища. Тому було передбачено можливість поетапного підключення компресорів (ступінчасте регулювання) та використання частотних регуляторів (плавне регулювання).

За даними Світового енергетичного комітету, до 2020 року теплові насоси, як енергозберігаюча технологія, буде реалізована в 75 % розвинених країн світу.

Дослідження енергетичної ефективності високошвидкісних ліній

Карук О.О., Карук В.О., Кузнецов В.Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Незважаючи на те, що будівництво ВШМ коштує дуже дорого, уряди всіх розвинених країн обирають цей вид залізничного транспорту за його енергоефективність, екологічність і безпеку. Будівництво ВШМ вважається «візитною картою» високорозвинених країн. Наявність в країні навіть проєктованої ВСМ є показником її стратегічної активності на світовій політичній та економічній арені. Будівництво ВСМ сприяє зростанню науково-технічного потенціалу країн, розвитку їх економічної і туристичної сфери.

Завдяки зручності для пасажирів, високій швидкості руху і конкурентоспроможним операційним витратам ВШМ формують якісно нові ринкові пропозиції. Значні переваги цього виду транспорту - чітко прогнозоване час у дорозі, невисока вартість, енергоефективність, екологічність і ефективність використання земель.

Світова практика показує, що розвиток високошвидкісного залізничного сполучення створює соціально-економічні ефекти, які потрібні для забезпечення економічного зростання та інноваційного еволюціонування. Навіть в період фінансової кризи щорічне зростання ринку залізничних перевезень в Європі становив 6% і був обумовлений розвитком високошвидкісного повідомлення.

Міжнародні екологічні тенденції, парадигма «зеленого» транспорту вимагають перерозподілу перевезень на користь більш енергоефективного та екологічного сполучення. За наявними оцінками, питомий об'єм викидів CO₂ з урахуванням генерації електроенергії при використанні високошвидкісного залізничного транспорту в 3,5 разів нижче, ніж на автотранспорті, та в 4 рази нижче, ніж у авіатранспорті. За рівнем енергоефективності ВШМ більше ніж в 15 разів перевершують автомобільні, в 5,5 разів - автобусні, в 1,5-2 рази – традиційні залізничні перевезення.

Енергоефективність залізничного високошвидкісного транспорту обумовлена наступними факторами:

- низький коефіцієнт тертя, в результаті чого поїзд може проїжджати великі відстані завдяки інерції, що і дозволяє економити енергію.
- живлення за рахунок електричної тяги, яка також сприяє швидкості руху.
- можливість регулювання складу пасажирського поїзда.

Говорячи про енергозбереження в залізничній системі, необхідно пам'ятати про те, що можливості цього виду транспорту ще далеко не вичерпані і не розкритий весь його потенціал. Саме тому в даний час впроваджуються заходи, спрямовані на поліпшення технологій виробництва поїздів і методів управління перевезеннями. Для того щоб зрозуміти як максимально збільшити економію енергії поїзда слід дослідити фактори, що впливають на витрату та втрати електроенергії. Перш за все це параметри рухомого складу, його аеродинамічні характеристики, маса тари, ефективність приводу, ефективність режимів системи тягового електропостачання.

Автори доповіді на основі статистичних даних та європейського досвіду будівництва та експлуатації ВШМ проаналізували існуючі науково-методичні підходи з оцінки енергоефективності високошвидкісних магістралей.

Варіанти удосконалення схемотехніки підсилення тягової мережі постійного струму при впровадженні швидкісного руху

Коваленко І.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Впровадження швидкісного руху, збільшення вагових норм потягів обумовлює необхідність нарощування провізної здатності залізниць, але застосовувані системи тягового електропостачання постійного струму не завжди в змозі забезпечити передачу електроенергії необхідної потужності і високої якості для цих потягів.

Режими напруги в системі тягового електропостачання постійного струму не дозволяють в повній мірі забезпечити необхідні умови для впровадження швидкісного руху на існуючих лініях, тому що рівні напруги, як на шинах тягового навантаження, так і в тяговій мережі мають значний діапазон коливань.

Один із способів поліпшити систему тягового електроживлення і зробити його більш ефективним - збільшити номінальну напругу в тяговій мережі постійного струму до 6, 12 та 24 кВ за рахунок переходу від існуючої централізованої системи живлення тягової мережі до схеми розподіленого живлення від лінії повздовжнього електроживлення. Їх застосування дозволяє зменшити діапазон зміни напруги в тяговій мережі та підвищити економічні показники функціонування системи тягового електропостачання. Це дозволяє збільшити пропускну здатність і пропускну спроможність залізниць, збільшити відстань між підстанціями, зменшити поперечний переріз проводів тягової мережі і значно знизити втрати потужності в установках електропостачання.

Необхідно зазначити, що ефективність системи розподіленого типу, особливо при застосуванні альтернативних джерел електричної енергії, буде значно вищою при застосуванні накопичувачів електричної енергії. Як показує аналіз доступних джерел, на сьогоднішній день найбільш перспективним напрямком є застосування батарейних систем накопичення електричної енергії (BESS), які дозволяють зменшити коливання споживаної потужності і рознести в часі фази накопичення та віддачі електроенергії.

Іншим способом поліпшення СТЕ є встановлення на тягових підстанціях керованих випрямних агрегатів із розміщенням між тяговими підстанціями пунктів перетворювачів напруги (ППН). ППН служать для підживлення контактної мережі від повздовжньої лінії постійного струму підвищеної напруги. Така схема дозволяє понизити навантаження на тягові підстанції та фідери контактної мережі, а також поліпшити захист тягової мережі від струмів короткого замикання.

Використання схем із вольтододатковими пристроями (ВДП) або з керованими випрямлячами дає змогу посилення системи електроспоживання постійного струму для умов швидкісного та високошвидкісного руху, тобто там, де основною вимогою є підтримка заданої напруги на струмоприймачі.

Застосування керованих випрямлячів із функцією стабілізації напруги на шинах ТП дозволяє підняти середнє та мінімальне значення напруги у струмоприймачів потягів, а також декілька понизити втрати енергії у тяговій мережі.

При впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху, а також формуванні технічної політики для розвитку систем електропостачання електрифікованих залізниць необхідне проведення комплексного технікоекономічного аналізу з урахуванням сучасних досягнень науки та розвитку техніки. Також передбачається спорудження нових тягових підстанцій і реконструкція існуючих, здійснення комплексу робіт з будівництва, реконструкції пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку, виконання комплексу робіт з будівництва та реконструкції об'єктів пасажирського господарства та ін.

Математична модель розподіленої системи тягового електропостачання постійного струму

Косарев Є. М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Задачі розрахунку режимів роботи і визначення навантажувальної здатності систем тягового електропостачання (СТЕ) вкрай актуальні при їх проектуванні та експлуатації. Однак, на відміну від розрахунку систем зі стаціонарними споживачами електричної енергії, розрахунок СТЕ має певні особливості. Розрахунок керованої розподіленої системи тягового електропостачання є ще більш ускладненим, оскільки математична модель такої СТЕ повинна передбачати розташування на міжпідстанційній зоні ряду підсилюючих пунктів (ПП) з можливістю регулювання їх вихідної потужності в режимі реального часу. Вочевидь, зміна схеми електропостачання призведе до додаткових ускладнень при моделюванні. Такі ускладнення будуть пов'язані з урахуванням впливу сусідніх фідерних зон та раціональним примусовим розподілом потужності паралельно працюючих тягових підстанцій і підсилюючих пунктів для забезпечення мінімуму втрат електричної енергії в тяговій мережі [1]. Апріорі концепція розподіленого живлення з керованими (некерованими) тяговими підстанціями та керованими підсилюючими пунктами передбачає збільшення явища впливу вирівнюючих струмів і, як наслідок, ускладнення розрахунку цих струмів через наявність більшої кількості джерел з різною напругою на шинах [2].

В розробленій моделі реалізована зміна тягових навантажень у часі та просторі, що базується на графіку руху, який зв'язує координату положення поїзда з часом. Величини цих навантажень визначаються на основі тягових розрахунків або експериментально. Запропонований метод дозволяє виконати електричні розрахунки системи тягового електропостачання при споживанні електрорухомим складом (ЕРС) заданої потужності при фактичному значенні напруги на струмоприймачеві. Особлива увага приділена розрахунку вирівнювальних струмів, оскільки зміна у реальному часі вихідної потужності підсилюючого пункту викликає зміну їх рівня та напрямку.

Визначення основних енергетичних показників системи тягового електропостачання базується на функції струморозподілу тягових підстанцій та підсилюючих пунктів, яка, в свою чергу, розраховується за допомогою методу вузлових потенціалів у матричному вигляді. Знаючи потенціали у вузлах схеми, опори віток між ними та графік руху поїздів спочатку визначається розподіл струмів в контактній мережі окремо від кожного поїзду. Далі за допомогою принципу суперпозиції визначається розподіл струмів в контактній мережі від усіх поїздів та з урахуванням вирівнювальних струмів. За аналогією з функцією розподілу струмів в контактній мережі визначається функція розподілу втрат напруги, яка передбачає використання значення струмів в контактній мережі з накопичуючим домноженням на відповідну відстань та питомий опір мережі. При накопиченні використовується рекурсивний підхід, тобто визначення розподілу втрат напруги наступного інтервалу використовує втрату напруги попереднього. Величина напруги на струмоприймачі електровоза визначається з урахуванням взаємного впливу кожного навантаження на попутній та, залежно від схеми живлення, на суміжній коліях. Різниця потужності, що згенерована тяговими підстанціями та пунктами підсилення і потужності, яку споживає ЕРС в кожній точці схеми визначає розподіл втрат потужності вздовж дослідної ділянки. Інтегрування втрат потужності за часом визначає втрати електроенергії при русі ЕРС дослідною ділянкою.

Описана математична модель реалізована у вигляді алгоритму в середовищі MathCAD та в окремому програмному продукті iSET.

1. Dmitry Bosyi. Modeling of the controlled traction power supply system in the space-time coordinates / Dmitry Bosyi, Yevhen Kosariev // Transport Problems: an International Scientific Journal. – 2017. – № 3. – P. 5 – 19.
2. Аржанников, Б. А. Система управляемого электроснабжения электрифицированных железных дорог постоянного тока / Б. А. Аржанников. – Екатеринбург: УрГУПС. 2010. – 176 с.

Якість електричної енергії в системі тягового електропостачання постійного струму при підключенні до шин тягової підстанції сонячної електростанції

Косарев Є. М., Холодняк Д. В. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Застосування сонячних електростанцій (СЕС) у системах електропостачання промислових та побутових споживачів на сьогодні є незаперечним фактом. При цьому одним з головних векторів розвитку сучасної електроенергетики є еволюційний перехід від централізованої генерації електричної енергії до розподілених смарт-систем генерації, що використовують поновлювані джерела енергії. Їх застосування збільшує маневреність потоків енергії, що призводить до підвищення якості електропостачання в умовах нерівномірних графіків споживання електричної енергії. Застосування розподілених систем генерації і накопичення електричної енергії дозволяє понизити матеріаломісткість електроенергетичних систем, збільшити її надійність і живучість за рахунок резервної енергії, запасеної в накопичувачах. Електроенергію, що генерується можна або безпосередньо використовувати для тяги поїздів, або акумулювати на тягових підстанціях разом з енергією рекуперативного гальмування. Загальні застосування акумульованої енергії в тягових енергосистемах включають наступне: регенерація енергії, регулювання напруги, згладження піків навантаження, зсув навантаження. Інтеграція СЕС в існуючі системи електропостачання поряд з широким застосуванням пристроїв силової електроніки змінює характер енергообмінних та перехідних процесів, що призводить до зміни балансу електричної енергії, виникнення потужностей спотворення та пульсацій, зміни рівнів напруги та погіршення якості електричної енергії. Необхідно приймати до уваги той факт, що силові інвертори, через які приєднуються СЕС, чутливі до рівнів напруги і при неналежному підключенні в залежності від конфігурації мережі, її хвильових властивостей, складу та стану застосовуваного обладнання це може привести до порушення стійкості паралельної роботи діючої системи електропостачання та СЕС.

Оскільки дослідження ПЯЕ базуються на застосуванні статистичних методів обробки та аналізу експериментальних даних, отриманих як в результаті фізичного експерименту, так і в результаті математичного моделювання експериментальні дослідження виконувались згідно розробленої на кафедрі “Інтелектуальні системи електропостачання” методики з використанням розробленого програмно-апаратного комплексу. Вимірювання проводились в РП-10 кВ ТП-5 тягової підстанції. «С» Львівської залізниці на вводі від сонячної електростанції. Проведений аналіз якості електричної енергії показав наступне: усталене відхилення напруги за весь час проведення експерименту перевищувало нормально допустиме значення 5%, а в період з 18:00 до 08:00 (неробоча СЕС) сягало більше 10 %, виходячи за межі гранично допустимого значення. Коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю знаходився в межах допустимих значень. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги за час вимірювань знаходився в межах допустимих значень. Значні сплески коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої струму спостерігалися лише в момент ввімкнення та вимкнення сонячної електростанції в роботу. Статистичний аналіз даних показав, що лише усталене відхилення напруги не відповідає

встановленим вимогам, всі інші досліджувані показники знаходяться в межах нормованих значень. З аналізу гармонійного складу напруги встановлено, що при роботі СЕС спостерігається менша емісія гармонік та зниження їх амплітуди. При вимкненій СЕС амплітуда гармонік зростає та з'являються 11, 13, 17, 19 та 25 гармонійні. Значний вміст у спектрі напруги 3 та 5 гармоніки пояснюється схемою застосовуваного інверторного перетворювача. При роботі СЕС гармонійні складові в струмі майже не спостерігаються, а при припиненні генерації енергії в мережу з'являється повний спектр гармонік до 63. Підключення СЕС до шин тягової підстанції призводить до зростання потужності короткого замикання на цих шинах, та, як наслідок, до зменшення внутрішнього опору тягової підстанції. Проведені дослідження показали, що при роботі СЕС зменшення внутрішнього опору тягової підстанції призводить до зниження втрат потужності на 2,2 %.

Резерви енергозбереження за рахунок оптимізації графіка руху поїздів

Кравцов А.В., Кузнецов В.Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Енергоресурси на залізничному транспорті витрачаються в основному на процес перевезень, а також для забезпечення роботи інфраструктури, що обслуговує перевезення, ремонтне виробництво, соціальну сферу тощо. Приблизно 60% усіх видів енергоресурсів припадає на електроенергію. Щорічна переробка електроенергії залізничними електромережами з урахуванням її транспортування для потреб обласних енергопередавальних компаній та постачання стороннім споживачам складає більше 10 млрд кВт•год, або 7,4 % від спожитої по Україні.

Споживання електроенергії транспортом знаходиться на 4-му місці після промисловості, населення та комунально-побутових споживачів у загальному енергетичному балансі України. Економія навіть незначного відсотка споживання електроенергії позитивно впливає на економію коштів. На залізницях України одним з найважливіших факторів енергозбереження є додержання графіка руху поїздів (ГРП) та мінімізація кількості зупинок вантажних поїздів. Витрати енергії при кожному циклі «зупинка – розгін» вантажного поїзда становлять 1,5-2,0% від повної витрати на поїздку.

Одним з основних напрямків забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту як на внутрішньому так і світовому транспортному ринку є зниження витрат енергоносіїв, оскільки їх складова у собівартості перевезень є значною, при цьому ціна енергоресурсів постійно зростає.

В процесі руху поїздів змінюється взаємне розташування, швидкість та струм кожного поїзду, оскільки кожний окремий потяг знаходиться на різних точках повздовжнього профілю і на кожному елементі профілю набувається різний вплив на рух потягу. Все це впливає на величину втрат електроенергії в тяговій мережі та викликає зміну навантаження на тягових підстанціях.

При організації пропуску поїздів щільним пакетом, що в цілому є прогресивним способом, виникають додаткові втрати електроенергії. Так на ділянках змінного струму при інтервалі попутного прямування 10 хвилин технологічні втрати збільшуються з 2-4 до 7-9 %.

В доповіді приводяться результати розрахунків щодо резервів енергозбереження за рахунок оптимізації показників потоку поїздів. Показано, що за рахунок оптимізації потоків поїздів можна знизити втрати електроенергії в тяговій мережі. Розглянутий метод енергозбереження не потребує значного фінансування, що є актуальним для залізниць України на сучасному етапі.

Підвищення якості електроенергії в лініях ДПР

Козіна І.Ю., Придаток В.С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Зниження рівня паливно-енергетичних запасів в наш час є досить важливою проблемою. Саме вона робить питання економії електроенергії більш актуальним. Через це необхідно звернути увагу на рівень якості електричної енергії. Адже саме він впливає на втрати електроенергії, надійність електропостачання, термін служби обладнання та інше.

Найбільш поширеним способом живлення нетягових споживачів, які знаходяться поблизу залізниць, електрифікованих на змінному струмі, стали лінії виконані за системою ДПР («два проводи-рейка»), довжина яких приблизно дорівнює протяжності тягової мережі змінного струму. Їх головною перевагою є відносно невелика вартість, яка зумовлена: використанням рейки в якості третьої фази, розміщення проводів на опорах контактної мережі та відсутність додаткової обмотки тягового трансформатора.

Але ця система має декілька недоліків. Головним з яких є сильний електромагнітний вплив, зумовлений близьким розташуванням тягової мережі та гальванічним зв'язком, що виникає через рейкову мережу. Крім того лінії ДПР через низьку якість електроенергії не забезпечують необхідні рівні напруги на підключених до них пристроях залізничної автоматики і зв'язку, що може привести до їх відмов, а навантаження третьої фази ДПР, в якості якої використовуються рейки, негативно впливають на роботу рейкових кіл автоблокування.

Погіршення викликане гальванічним зв'язком лінії ДПР із тяговою мережею та сильним електромагнітним впливом тягового навантаження типовим для якого є різкі зміни значень електричного струму, виникнення вищих гармонік та інтергармонік у спектральному розкладі живлячої напруги.

Через вище наведені проблеми виникає питання про необхідність припинення використання ліній ДПР. Паралельно з цим існують думки про їх модернізацію.

Наприклад, для того, щоб зменшити несиметрію наруг у споживачів за рахунок зрівняння електромагнітного впливу на трифазну лінію тягової мережі можливо замінити використання рейок на прокладення третього фазного проводу.

Переобладнання ліній ДПР в лінії ЛЗФ-27,5 кВ дозволить значно знизити негативний вплив тягової мережі змінного струму в місці підключення споживачів. Таки пристрій представляє собою трансформатор принцип роботи якого подібний до трансформатора зібраного за схемою Скотта, але на виході якого утворюється трифазна систему напруг.

Це лінія з заземленою фазою, яка не надає істотного впливу на рейкові кола автоблокування. Впровадження ЛЗФ-27,5 кВ на базі існуючих ліній ДПР дозволить значно знизити витрати на електропостачання нетягових споживачів.

Також існує варіант вдосконалення конструкції штучного заземлювача КТП-25 кВ, це можливо завдяки включення до контуру регульованого індуктивного елементу. Завдяки цьому зменшиться несиметрія струму та напруги у колах лінії ДПР.

Кожний із вказаних варіантів вирішення проблем не може забезпечити їх повної відсутності, а лише частково їх зменшує та потребує значних капіталовкладень.

Визначення та пошук шляхів компенсації заважаючого впливу, викликаного переліченими чинниками, були у минулому предметом низки наукових досліджень. Вирішення цієї проблеми призведе до зниження втрат електричної енергії у лінії та підвищить надійність електропостачання.

Аналіз сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з сонячними модулями

Кугаєнко Ю.О., Полях О.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Зараз почали посилюватися екологічні вимоги у багатьох країнах і це призводить до вирівнювання вартості енергії традиційних та альтернативних джерел, також на це вплинуло зростання вартості енергії традиційних електричних станцій, особливо вугільних, але завдяки технологічному вдосконаленню устаткування для джерел поновлювальної енергетики знижується їх вартість.

На території України зі зміною умов надання послуг з електропостачання, посприяло стрімке збільшення та розвиток відновлювальних джерел електроенергії, збільшенням кількості постачальників. Сонячна енергія доступна в кожному кутку нашої планети. Вона є екологічно чисте джерело, без негативного впливу на навколишнє середовище. Актуальним питанням є можливість використання альтернативних джерел електроенергії на власні потреби тягових підстанцій.

Найбільш перспективним, для потреб залізничного транспорту, є застосування сонячних батарей. До важливих переваг відносять те, що для їх впровадження не потрібні значні площі і можна використовувати дахи підстанцій, та відсутність необхідності використовувати будь-яке паливо, рухомі частини, що зношуються, проведення трудомісткого технічного обслуговування для підтримки системи у працездатному стані, їх модульність, що дає можливість швидкого монтажу в місцях експлуатації, відсутність експлуатаційного шуму і джерел шкідливих викидів. Встановлювати їх необхідно на відкритій місцевості, де сонячне світло буде максимально більше часу. Для ефективного використання сонячної енергії треба визначити відстань між модулями сонячної батареї та їх кут нахилу. Наприклад, для Дніпропетровської області доцільно встановлювати фотоелектричні модулі під кутом нахилу до обрію 45° .

В роботі проведено аналіз: власних потреб, які споживає тягова підстанція; можливості розташування альтернативних джерел живлення на території тягової підстанції; досліджено як може працювати система живлення власних потреб тягової підстанції напряму з альтернативними джерелами енергії і в паралельному режимі.

При використанні сонячних батарей існують такі недоліки: залежність від світлого і темного періоду доби, зима, літо; погодних умов (хмарно, дощ, зливи); необхідність в перетворювачі з постійного струму в змінний; неспожиту електричну енергію необхідно або накопичувати (додаткові втрати на акумулятори), або направляти в енергосистему.

Аналіз сумісної роботи показав, що для покращення ефективності системи та збільшення вироблення енергії необхідно застосовувати контролер заряду з функцією відстежування точки максимальної потужності. Такий контролер за наявності достатньої освітленості не перешкоджає доступу енергії від сонячних батарей на акумулятори, а при недостатній освітленості накопичує енергію і подає її на акумулятор порціями з оптимальними значеннями струму і напруги.

При застосуванні альтернативних джерел енергії на власні потреби тягової підстанції можна зробити наступний висновок:

1. Можливе розташування фотоелектричних модулів на дахах і території тягової підстанції;
2. Зроблено аналіз кількості річного споживання електроенергії на власні потреби тягової підстанції;
3. Встановлено можливість зменшення споживання електроенергії за рахунок застосування сонячної батареї;

4. Оптимальним вирішенням сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з сонячними модулями буде встановлення модулів потужністю 200Вт з якими система живлення власних потреб буде працювати, як напрямку так і в паралельному режимі.

Підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій при впровадженні швидкісного руху

Куручка О.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Підстанція як об'єкт впровадження енергозберігаючих заходів має значний потенціал скорочення витрат електроенергії. На відміну від заходів щодо скорочення витрат електроенергії, заходи щодо підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій мають високі економічні показники ефективності. В даний час все більша увага приділяється енергоефективності та енергозбереженню, впроваджуються технології та обладнання, що дозволяє знизити втрати електроенергії. Одним з напрямків енергозбереження є зниження витрат електроенергії споживачами власних потреб підстанцій.

Як відомо, витрата електроенергії на власні потреби підстанцій входить в структуру витрат електроенергії окремої складової і має високий потенціал у порівнянні з іншими складовими потенціалу енергоефективності підстанції, такими як зниження витрат в основному обладнанні і зниження фактичного небалансу підстанції. Основними напрямками підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій є: оптимізація роботи систем охолодження трансформаторів і реакторів, підвищення ефективності роботи систем опалення будівель і використання в якості джерел тепла теплових витрат трансформаторів і реакторів; впровадження автоматизованих систем моніторингу витрат на власні потреби підстанції; уточнення і постійна актуалізація норм витрат на власні потреби підстанції, що дозволяють адекватно оцінювати ефективність роботи власних потреб підстанцій.

Застосування для електрообігріву будівель і споруд підстанцій, розподільчих пунктів трансформаторних підстанцій і т.д. нагрівальних елементів з акумуляторами тепла, що дозволяють використовувати електроенергію на обігрів в нічний не піковий період графіка навантажень дозволить частково скоротити споживання на власні потреби. Застосування для освітлення будівель і територій люмінесцентних світильників з максимальним використанням так званого режиму «чергового світла». В даний час світлодіодні системи освітлення на жорстких поперечках є найбільш ефективним технічним рішенням при освітленні територій залізничних станцій, які створюють гарну видимість. Також досить ефективним є застосування світлодіодних світильників і для освітлення платформ. Економія електроенергії при застосуванні світлодіодних світильників досягає 2,5 - 3,5 рази в порівнянні з люмінесцентними лампами. Для досягнення істотного економічного ефекту необхідно якісне проектне обстеження об'єктів, проведення світлотехнічних розрахунків, правильний вибір типів світильників по світлорозподілу і потужності, застосування інтелектуальних систем управління освітленням.

Є велике поле діяльності для вирішення задач енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. З одного боку, об'єднання «взаємовиключних» процесів здатне дати значний синергетичний ефект - наприклад, об'єднання технологічних процесів охолодження, обладнання та обігріву будинків. З іншого - використання сучасних технологій, таких як: частотне регулювання двигунів системи охолодження трансформаторів і реакторів, сучасних технологій в галузі опалення будівель, нових типів енергоефективних світильників, дозволяє вивести ефективність роботи обладнання на абсолютно новий рівень. Все це змінює існуючий консервативний підхід до експлуатації, проектування власних

потреб підстанції, а найважливіше - очікуваний рівень витрат електроенергії на власні потреби.

Методика визначення оптимального місця встановлення джерел розподіленого генерування в системах тягового електропостачання постійного струму

Липський М. Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день впровадження сучасних енергозберігаючих технологій є доволі актуальним питанням як у сфері виробництва так і у сфері транспортно-енергетичної інфраструктури. Впровадження швидкісного чи важковагового руху потребує забезпечення питомої потужності тягової мережі на рівні 1,5-2 МВт/км, що можливо за рахунок використання новітніх технологій [1]. Зважаючи на інноваційний перехід від централізованої генерації електричної енергії до розподілених смарт-систем генерації, що використовують поновлювані джерела енергії, було досліджено способи підсилення систем тягового електропостачання, а також розробки, пов'язані з розподіленими системами тягового електропостачання, та виявлено питання з підбору місця встановлення, та потужності розподілених генераторів для забезпечення необхідного рівня напруги на струмоприймачі електрорухомого складу та зменшення втрат електричної енергії при збільшенні пропускної здатності електрифікованої ділянки.

Впровадження будь якої розподіленої системи з використанням джерел альтернативної енергії чи без них потребує обґрунтування не лише за терміном окупності та економічним розрахунком, але також повинен враховуватись вплив джерел на ефективність роботи енергосистеми в цілому. В статті розглянуто методику визначення місця встановлення джерел генерування в гібридних СТЕ.

В роботі представлено концепцію з обґрунтування місця розташування підсилюючих пунктів для оптимізації параметрів СТЕ на основі сенсорного методу пошуку. На математичній моделі для кожного потенційного місця розташування підсилюючого пункту визначається зміна напруги впродовж розрахункового періоду. Далі визначаються максимальні значення зміни напруги в розрахунковій точці. На основі отриманих значень обирається точка з максимальним розмахом зміни напруги після чого проводяться розрахунки значень напруги та втрат потужності з урахуванням підсилюючого пункту, що встановлений в обраній точці.

В наслідок використання представлених в роботі методів математичну модель системи тягового електропостачання, отримано алгоритм, що надає змогу отримати вирішення оптимізації місця розташування підсилюючих пунктів, як для зменшення втрат потужності так і для підтримки рівня напруги на струмоприймачі. Вхідними варіаційними параметрами моделі є: напруга холостого ходу тягових підстанцій їх координата та внутрішній опір.

Розглянута в роботі концепції дозволяють визначити місця найбільш доцільного встановлення підсилюючих пунктів в залежності від графіків руху та струмів електрорухомого складу. Що в свою чергу призводить до покращення економічних показників СТЕ.

1.Viktor G. Sychenko, Dmitry O. Bosiy, Eugene M. Kosarev Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current// The archives of transport – 2015. – Vol. 35, Iss. 3. – P. 63-70

**Сучасні підходи в організації автоматизованого обліку споживання енергоресурсів
для побутових споживачів**

Мартиненко В.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Висока вартість електроенергії наразі та постійне подорожчання енергоносіїв призвели до того, що необхідно переоцінювати підхід до організації обліку, контролю та управління електроенергією на промислових підприємствах.

Споживачі повинні розраховуватися за отриману електроенергію не за допомогою старих приладів, за встановленою потужністю або за договорами, а за допомогою точних засобів вимірювальної техніки. Сучасна торгівля енергією та енергоносіями заснована на використанні системи автоматизованого обліку електроенергії, яка містить мінімальний відсоток людського фактору у зборі, обробці та передачі даних з підприємства та гарантує чіткий та об'єктивний облік. Саме з цією метою споживачі створюють на промислових об'єктах автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) [1].

Ця система містить комплекс технічних, алгоритмічних, математичних та програмних засобів та використовується для: контролю потужності, яка споживається в часи максимуму навантаження; підвищення точності обліку; обліку споживання електроенергії; контролю параметрів вимірювальних приладів; перерозподілу споживання електроенергії, планування добового графіку роботи основних цехів промислового підприємства; накопичення та зберігання даних про споживання електроенергії в базі даних [2].

На даний час найбільш поширеною технікою зв'язку АСКОВ є радіозв'язок за допомогою стандарту IEE 802.15.4 (2,4 ГГц), а потім – технологія низьковольтного PLC-зв'язку [3].

Основним елементом АСКОВ є електронний мікропроцесорний лічильник електроенергії класу точності 1,0 S. Така система дозволяє здійснити високоточне вимірювання, автоматизований одночасний збір показників вимірювань, обробку отриманої інформації та передачу даних про електроспоживання організації, що постачає електроенергію споживачеві [4].

Інтелектуальні лічильники, що підключені в єдину автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) економлять своїм «господарям» до 40% електроенергії. «Розумний» лічильник сам враховує споживання електроенергії за декількома тарифними зонами, що дозволяє значно заощадити кошти на оплату послуг.

Якщо лічильник двозонний, то заощадити можна до 30%. Тобто, в період дії зони «День» (7:00 – 23:00) - вартість електричної енергії не зміниться, але в період дії зони «Ніч» (23:00 – 7:00) вартість спожитої електричної енергії буде в 2 рази нижче.

Якщо лічильник тризонний, то заощадити можна до 40%, продумавши, коли дешевше користуватися енергоємними приладами. А «розумний» лічильник автоматично зафіксує споживання в три періоди доби. Тобто, в період дії зони «Пік» (08:00 – 11:00; 20:00 – 22:00) - вартість електроенергії буде в 1,5 рази вище, в зоні «напівпіку» (07:00 – 08:00; 11:00 – 20:00; 22:00 – 23:00) - залишиться без змін, в зоні «Ніч» (23:00 – 07:00) - на 60% дешевше.[5]

Мета роботи полягає в розгляді принципу роботи сучасних автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії на базі багатофункціональних високоточних мікропроцесорних електrolічильників; аналізі економічної доцільності впровадження пропонуваної системи.

Висновки. Впровадження АСКОВ має на меті спрощення процедури розрахунку між абонентом та енергозбутовою компанією, зменшення дебіторської заборгованості за спожиту електроенергію побутовими споживачами, зниження величини комерційних і техні-

чних витрат за рахунок підвищення точності, достовірності вимірів й оперативності надходження вимірювальної інформації від первинних приладів.

1. НАКАЗ від 17.04.2000 року N 32/28/28/276/75/54 Про затвердження Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку.
2. Аналіз та впровадження АСКОВЕ на підприємствах/ Ю.С. Олійник/ Стаття/[Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16482/soi_2016_3_50.pdf.
3. Технології зв'язку АСКОВЕ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: <http://uchet-jkh.ru/publikacii/informaciya/sravnenie-tehnologiy-askue.html>
4. Шестеренко А.В. АСКУЭ: приборы учета электроэнергии [Електронний ресурс] / А.В. Шестеренко // сайт Электрические сети и системы. – Режим доступу до сайту: <http://leg.co.ua>.
5. Тарифи для споживачів, диференційовані за періодами часу [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: <http://doe.com.ua/node/1795>

Підвищення ефективності експлуатації високовольтних вимикачів тягових підстанцій змінного струму

Матусевич О.О., Карпелянський А.Р., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Підстанція як об'єкт впровадження енергозберігаючих заходів має значний потенціал скорочення витрат електроенергії. На відміну від заходів щодо скорочення витрат електроенергії, заходи щодо підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій мають високі економічні показники ефективності. В даний час все більша увага приділяється енергоефективності та енергозбереженню, впроваджуються технології та обладнання, що дозволяє знизити втрати електроенергії. Одним з напрямків енергозбереження є зниження витрат електроенергії споживачами власних потреб підстанцій.

Як відомо, витрата електроенергії на власні потреби підстанцій входить в структуру витрат електроенергії окремої складової і має високий потенціал у порівнянні з іншими складовими потенціалу енергоефективності підстанції, такими як зниження витрат в основному обладнанні і зниження фактичного небалансу підстанції. Основними напрямками підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій є: оптимізація роботи систем охолодження трансформаторів і реакторів, підвищення ефективності роботи систем опалення будівель і використання в якості джерел тепла теплових витрат трансформаторів і реакторів; впровадження автоматизованих систем моніторингу витрат на власні потреби підстанції; уточнення і постійна актуалізація норм витрат на власні потреби підстанції, що дозволяють адекватно оцінювати ефективність роботи власних потреб підстанції.

Застосування для електрообігріву будівель і споруд підстанцій, розподільчих пунктів трансформаторних підстанцій і т.д. нагрівальних елементів з акумуляторами тепла, що дозволяють використовувати електроенергію на обігрів в нічний не піковий період графіка навантажень дозволить частково скоротити споживання на власні потреби. Застосування для освітлення будівель і територій люмінесцентних світильників з максимальним використанням так званого режиму «чергового світла». В даний час світлодіодні системи освітлення на жорстких поперечках є найбільш ефективним технічним рішенням при освітленні територій залізничних станцій, які створюють гарну видимість. Також досить ефективним є застосування світлодіодних світильників і для освітлення платформ. Економія електроенергії при застосуванні світлодіодних світильників досягає 2,5 - 3,5 рази в порівнянні з люмінесцентними лампами. Для досягнення істотного економічного ефекту необ-

хідно якісне проектне обстеження об'єктів, проведення світлотехнічних розрахунків, правильний вибір типів світильників по світлорозподілу і потужності, застосування інтелектуальних систем управління освітленням.

Є велике поле діяльності для вирішення задач енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. З одного боку, об'єднання «взаємовиключних» процесів здатне дати значний синергетичний ефект - наприклад, об'єднання технологічних процесів охолодження, обладнання та обігріву будинків. З іншого - використання сучасних технологій, таких як: частотне регулювання двигунів системи охолодження трансформаторів і реакторів, сучасних технологій в галузі опалення будівель, нових типів енергоефективних світильників, дозволяє вивести ефективність роботи обладнання на абсолютно новий рівень. Все це змінює існуючий консервативний підхід до експлуатації, проектування власних потреб підстанції, а найважливіше - очікуваний рівень витрат електроенергії на власні потреби.

Програмний комплекс діагностування технічного стану електричного обладнання тягових підстанцій

Міронов Д.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В умовах розвитку ринкових відносин у галузі енергоремонту система планово-попереджувальних ремонтів (ППР) у багатьох випадках не забезпечує прийняття оптимальних рішень. Це пов'язане з тим, що планування профілактичних робіт не залежить від технічного стану конкретної одиниці електрообладнання (ЕО), що призводить до появи додаткових матеріальних і трудових витрат. Методи, обсяг і періодичність контролю при діагностиці технічного стану агрегату вибираються таким чином, щоб забезпечити високу надійність експлуатації всіх вузлів ЕО. Новим напрямком у розвитку системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) є розробка підходів, заснованих на індивідуальному спостереженні за реальними змінами технічного стану обладнання в процесі експлуатації. Для цього необхідно розробляти засоби отримання діагностичної інформації, а також автоматизовані інтелектуальні системи діагностування ЕО, що дозволяють в реальному часі контролювати технічний стан обладнання. При цьому постає важливе питання оцінки ефективності та доцільності впровадження даних методів.

В даній роботі проведена оцінка ефективності впровадження автоматизованої системи моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій. Оцінка економічної ефективності впровадження автоматизованої системи проводиться за трьома показниками: експлуатаційні витрати за рік, річний економічний ефект та строк окупності. Даними для розрахунку капітальних вкладень і експлуатаційних витрат служать конструктивні параметри та експлуатаційні показники порівнюваних варіантів техніки. Експлуатаційні витрати на систему технічного обслуговування і ремонту можна визначити за формулою:

$$C = C_E + C_H + C_{MAT} + C_{EE} + C_A,$$

а річний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи та строк її окупності за наступними виразами:

$$E = C_1 - (C_2 + K \cdot E_H), \quad T = \frac{C_2 + K \cdot E_H}{E}.$$

За результатами розрахунків експлуатаційні витрати при існуючій системі технічного обслуговування електроустаткування склали 335656,82 грн. проти 274121,61 грн. з використанням автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання. Річний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи моніторингу техні-

чного стану електрообладнання та строк її окупності за результатами розрахунків склали відповідно 62745,216 грн. та 4,35 років.

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання та строк її окупності відповідають вимогам нормативних значень для електронно-обчислювальної техніки. Застосування автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання в процесі технічного обслуговування і ремонту устаткування тягових підстанцій дає змогу значно скоротити час на ремонтно-профілактичні роботи шляхом зменшення часу на проведення діагностичних вимірювань (при наявності датчиків контролю діагностичних параметрів електрообладнання), обробку їх результатів та постановку діагнозу з подальшим плануванням об'єму робіт. В свою чергу це зменшує річні фінансові витрати на проведення ремонтно-профілактичних робіт.

Автоматизована система моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій

Міронов Д.В., Громова Ю.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день ситуація в електроенергетичній інфраструктурі залізничного транспорту України досить складна: значна частина обладнання, що знаходиться в експлуатації, вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Розвиток швидкісного і високошвидкісного руху та зростання його інтенсивності, застосування електрорухомого складу нового покоління, вимагають заміни застарілого обладнання та елементів низької експлуатаційної надійності на високотехнологічні пристрої підвищеної надійності і збільшеного ресурсу, впровадження нових методів діагностики технічного стану обладнання та вдосконалення існуючої системи технічного обслуговування та ремонту пристроїв електропостачання. Надійність обладнання зростає, насамперед, у результаті застосування сучасних елементів управління у системах електропостачання інфраструктури.

Для вирішення вищезазначених проблем розроблено автоматизовану систему моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій. Дана система призначена для моніторингу і прогнозування технічного стану енергетичного обладнання, а також для ведення інформаційної бази даних енергетичного устаткування тягової підстанції. Управління системою здійснюється за допомогою автоматизованого робочого місця зі спеціально розробленим програмним комплексом. Програмний комплекс складається з наступних модулів: сервера з інформаційною базою даних (встановлюється на дистанції електропостачання), клієнта (встановлюється на тяговій підстанції), модуля вводу даних, модуля розрахунку фактичного залишкового та критичного ресурсів, програмного забезпечення (ПЗ) адміністрування (персонал дистанції електропостачання) та операторів виробничих відділів (персонал тягової підстанції). Програмний комплекс забезпечує виконання наступних функцій:

- ведення інформаційної бази даних показників працездатності та ремонтної статистики обладнання;
- розрахунок і графічне відображення критичного і залишкового ресурсів обладнання;
- розрахунок і графічне відображення ремонтних пріоритетів обладнання;
- коригування графіків ремонтів ЕО.

Запропонований автоматизований комплекс моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій дозволяє оперативно реагувати на зміну технічного стану конт-

рольованого обладнання і виділяти найбільш критичні одиниці технічного устаткування. Це дає змогу реалізувати систему технічного обслуговування обладнання тягових підстанцій за фактичним технічним станом, що дозволить значно скоротити матеріальні та фінансові затрати на проведення ремонтно-профілактичних робіт.

Підвищення електроенергетичної ефективності розподільчих мереж залізниці

Міщенко А.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На залізничному транспорті все частіше піднімається питання про енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. В зв'язку з збільшенням попиту на електричну енергію виникають ряд проблем, які пов'язані зі значними втратами електричної енергії в розподільчих мережах, фізичним і моральним зносом силового обладнання. На сьогоднішній день в розподільчих мережах 6-10 кВ практично неможливо автоматично керувати розподілом і споживанням електричної енергії.

Все це призводить до технічної межі розподільчих мереж і, як наслідок до зниження надійності електропостачання споживачів.

Основними перевагами підвищеної напруги 20 кВ над іншим класом напруги 6, 10 кВ є те, що при збільшенні напруги до 20 кВ при сталій потужності струми зменшуються, і як наслідок зменшуються технологічні втрати електроенергії. Підвищення напруги сприяє збільшенню запасу потужності мережі при максимальному навантаженні, підвищення якості електричної енергії. Також можна відмітити те, що з точки зору схем і компонування, РП 20 кВ і 6,(10) кВ відноситься до мереж одного класу. Обладнання на 20 кВ є комплектним, компактним і по розмірами можна порівняти з обладнанням 10 кВ. Іншими словами потреби заміни проводів, кабелів немає. Використання номінальної напруги 20 кВ дозволить збільшити надійність і безпеку використовуваних електричних мереж.

Так як напруга 20 кВ є новою для українських мереж, виникають деякі питання зі застосуванням класу напруги 20 кВ. Впровадження мереж даного рівня напруги потребує попередніх організаційних заходів в частині коригування нормативно-технічної документації по напрямкам:

- проектування та будівництво електричних мереж;
- вимоги до конструкції та параметрам електрообладнання 20 кВ;
- вимоги щодо введення в експлуатацію електроустановок;
- норми експлуатації обладнання, в тому числі норми безпеки.

Також залишається питання застосування 20 кВ на розподільчих мережах залізничного транспорту. Живлення розподільчих мереж нетягових споживачів відбувається від тягових підстанцій напругами 6,10,35 кВ. Впровадження 20 кВ потребує заміни тягових трансформаторів або застосування трансформаторів 10/20 кВ і 35/20 кВ. Це призведе до значних капіталовкладень.

Аналіз системи електропостачання та розподільчих мереж залізниці показав, що в основному на підстанціях є такі рівні напруги: 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ, а більше 70% ліній електропостачання нетягових споживачів знаходяться за межами населених пунктів. Виникає питання, чи є сенс застосування напруги 20 кВ, якщо є рівень напруги 35 кВ?

Клас напруги 20 кВ у більшості випадків програє 35 кВ через втрати, а аргумент, що обладнання 20 кВ поміщається у габарити 10 кВ виявиться нікчемним.

Сказати, що той чи інший рівень напруги буде більш економічним неможливо. Для цього треба провести техніко-економічні розрахунки за якими можна вже більш ґрунтовно розглядати перехід на інший рівень напруги.

Геометричне подання реактивної потужності

Міщенко Т.М. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Впровадження в Україні швидкісного руху поїздів з підвищеним їх рухом до 200 км/год вимагає застосування більш потужних, ніж при звичайному русі, видів електрорухомого складу змінного струму, зокрема електровозів. А більш потужні електровози, як відомо, являються і більш потужними генераторами реактивної потужності, транзит якої в системі електричної тяги змінного струму являється однією із проблем, яку до цього часу не вдалось розв'язати. Тому проектування нових швидкісних ділянок чи перехід існуючих із системи постійного струму на змінний повинні здійснюватись з урахуванням генерування і транзиту в системі електротяги реактивної потужності. Навіть до цього часу в електротехніці існує проблема оцінки реактивної потужності та енергетичних показників нелінійних, тим більше нестаціонарних, споживачів електроенергії. Тому перевагу віддають тій теорії, яка, по-перше, відображає максимум інформації про енергетичні процеси і, по-друге, дозволяє оперувати з миттєвими характеристиками системи. В роботі доведено, що існує певний зв'язок між вхідною циклічною динамічною ВАХ електровоза змінного струму, як пасивного двополосника (системи), і спектральним складом вхідних тягових напруги і струму цього електроавоза, зокрема. Геометрично площа циклічної ВАХ будь-якого пристрою чи системи пропорційна значенню реактивної потужності, яка споживається (чи генерується) цим пристроєм чи системою. Знак «+» отримується у випадку, якщо зі збільшенням робоча точка переміщується по ВАХ проти ходу годинникової стрілки, а отримувана реактивна потужність являється додатною ($Q > 0$), тобто буде споживатися. В той же час, знак «-» отримується, якщо робоча точка переміщується за годинниковою стрілкою і тоді Q буде від'ємною ($Q < 0$), тобто, буде генеруватись. Зі збільшенням тягового навантаження ВАХ розширюється (збільшується), тобто закономірно збільшується реактивна потужність. У випадку, коли у струмі $i(t)$ переважає основна гармоніка 50 Гц, тобто $i(t)$ майже «чисто» синусоїдний, тоді ВАХ за формою являється еліпсоподібною. Зі збільшенням вищих гармонік в спектрі струму форма ВАХ все більше спотворюється. Імовірно, математично можна знайти певний параметр, який би чисельно визначав ступінь спотворення ВАХ в залежності від кількості і амплітуд вищих гармонік в несинусоїдній величині. Встановлені закономірності зв'язку форм і площі циклічної динамічної ВАХ дають практичну можливість без виконання класичного Фур'є-аналізу оцінити величину і знак реактивної потужності, а також гармонійний склад напруги і струму досліджуваної системи, зокрема, швидкісних електровозів, що й зроблено в роботі для електровоза ДСЗМ.

Оцінка потенціалу оптимізації рівнів нерівномірності споживання електроенергії в локальних системах електропостачання

Опришко В.П., Доценко Д.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Першочергова задача оптимізації функціонування системи електропостачання полягає в безперервному забезпечуванні балансу графіків навантаження та генерації шляхом оперативного покриття графіка навантаження відповідним рівнем згенерованої потужності. У випадку невиконання умови балансу, в системі змінюються частота мережі змінного струму, розрахункові рівні напруги та інші показники, що може призвести до масових

відключень споживачів чи пошкодженню генеруючого, передаючого і розподільчого обладнання та устаткування споживачів.

Робота локальної системи електропостачання по нерівномірному графіку навантаження, також пов'язана з додатковими витратами як перевитрати палива та наявність надлишкового генеруючого обладнання з супутніми ресурсами, які закладаються в тариф на електроенергію з метою збереження економічності енергосистеми в цілому, що впливає на збільшення витрат споживачів.

Ефективне розподілення і споживання електричної енергії в системі електропостачання може бути досягнуте за рахунок ефективного споживання та інтелектуального контролю за розподіленням активної потужності без порушення технологічного процесу і дотримання допустимих відхилень напруги та струму. Система електропостачання має розглядатись як єдиний комплекс, при цьому оптимізація режимів системи здійснюється не лише з врахуванням втрат потужності на передачу але й з врахуванням зміни потужності споживання при відхиленні напруги.

З метою зменшення втрат та аналізу можливостей керування режимами електропостачання, розроблений спосіб оцінки рівнів неоптимальності локальної електроенергетичної системи. В основу роботи покладено метод оцінки рівня неоптимальності на основі показників потужності Фризе Q_{Φ} та на інтервалі часу $Q_{\Phi t}$.

Порівнюючи режими роботи локальної електроенергетичної системи з можливим режимом, що спирається на оптимальне значення активної потужності P , значення для потужності Фризе Q_{Φ} поширюється на будь-який інтервал з врахуванням існуючих пульсацій та відхилень напруги та струму. Розглянуті процеси зміни величини потужності Фризе Q_{Φ} , можуть бути реалізовані при створенні системи акумулювання електричної енергії.

$$Q_{\Phi, \text{Треж}}^2 = \left(\sum_{j=1}^n U_j^2 \delta_j \right) \left(\sum_{j=1}^n I_j^2 \delta_j \right) - \sum_{j=1}^n (U_j I_j \delta_j)^2$$

Спосіб оцінки, на основі модифікованого показника $Q_{\Phi, \text{Треж}}$, дозволяє оцінити нерівномірність споживання електричної енергії на довільному інтервалі часу, проаналізувати поточний стан та скоригувати дії зі зменшення рівню нерівномірності споживання електричної енергії шляхом впровадження додаткових програм з керування режимами роботи та попиту споживачів електричної енергії.

Як розвиток, спосіб оцінки може бути покладений в основу розробки програмно-алгоритмічного та нормативно-методичного забезпечення диспетчера служби електропостачання. Застосування аналізу на основі модифікованого показника $Q_{\Phi, \text{Треж}}$, спрощує роботу диспетчерів локальних систем електропостачання з точки зору спрощення розрахунку рівнів нерівномірності споживання електричної енергії, аналізу рівню впливу окремих споживачів та їх груп на нерівномірність споживання та створенні чи корегуванні існуючих планів щодо зменшення нерівномірності шляхом впровадження супутніх програм.

Розробка енергозберігаючої технології промислових підприємств

Пилипенко М.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На даний час для промислових підприємств особливо актуальне енергозбереження, оскільки в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв і фінансової кризи впровадження енергозберігаючих заходів є одним з найефективніших засобів зниження собівар-

тості продукції, що виробляється підприємством, а також збільшення конкурентоспроможності при діючих ринкових відносинах.

Проблема енергозбереження на підприємстві існує з самого початку заснування електричної тяги. Тому на ГЗК впроваджена програма енергозбереження та застосування організаційно-технічних заходів на економії електроенергії.

Для аналізу ефективності електроспоживання проводиться обстеження підприємств ГЗК, організацій і окремих виробництв з їх ініціативи для визначення можливостей економії енергії яка споживається, впровадження способів допомоги підприємству для здійсненні практичної економії шляхом застосування механізмів енергетичної ефективності.

Для дослідження необхідно проаналізувати можливість і умови підвищення ефективності роботи систем цех мереж і підстанцій на сучасному етапі розвитку підприємств України. Метою роботи є розробка конкретних заходів на підприємстві, які призведуть до значного скорочення витрат енергетичних ресурсів. Для аналізу беруться конкретні системи електропостачання гірничо-збагачувального комбінату.

У сучасних умовах експлуатація електрообладнання вимагає глибоких і різнобічних знань, а завдання створення нового або модернізації існуючого електрифікованого технологічного агрегату, механізму або пристрою вирішуються спільними зусиллями технологів, механіків та електриків. Вимоги до електрообладнання витікають з технологічних даних і умов. Електрообладнання не можна розглядати у відриві від технологічних і конструктивних особливостей об'єкту, що електрифікується, і навпаки. Тому для обслуговуючого персоналу недостатньо знати тільки електричну частину, необхідно також знати механіку та інші системи в обслуговуваному обладнанні.

Для вирішення цієї проблеми був проведений аналіз споживання електроенергії підприємства, на основі цього аналізу зроблено пропозиції по зменшенню споживання електроенергії, а саме її економія за рахунок зниження втрат електроенергії в системах електропостачання, а також раціоналізації та вдосконалення технологічного процесу споживання електроенергії. Особливе значення для економії електроенергії мають питання зниження електричного навантаження цеху в години максимуму енергосистеми.

Крім того розглянуті питання по зменшенню споживання теплоенергетичних установок, насосних агрегатів, а також технологічного та допоміжного устаткування.

Ще одним питанням аналізу та економії електроенергії є компенсація реактивної потужності, яка дає можливість отримати значну економію енергетичних ресурсів, енергозбереження в освітлювальних установках.

Аналіз проводився в декілька послідовних кроків. Першим кроком аналізу є визначення розрахункового навантаження системи електропостачання підприємств ГЗК та порівняння з фактичними.

Висновок: Як бачимо існує цілий ряд напрямків збереження електроенергії. Оптимальним варіантом є поєднання всіх можливостей роботи з питань енергозбереження на гірничо-збагачувальних підприємствах.

Оптимізація споживаної електроенергії при застосуванні нетрадиційних джерел живлення

Полях О.М., Сущенко К.Б., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день традиційні джерела енергії не задовольняють зростаючі потреби залізниць, тому що тарифи на електроенергію постійно зростають. Українська залізниця залишається однією з найбільш розвинутих серед європейських країн. Постійно ство-

рюються програми над впровадження енергозберігаючих технологій. Головною метою є економія енергетичних ресурсів, скорочення необхідних інвестицій у паливно-енергетичний комплекс, а також зниження шкідливої дії енергетичного виробництва на навколишнє середовище. По результатах впровадження заходів програми енергозбереження на залізничному транспорті України наприклад за 2006 – 2010 роки було зекономлено 297 тис. тонн палива, із них 380 млн кВт•год. Електроенергії, 94,2 тис. тонн дизельного палива, 9,7 млн. м³ природного газу, 22,6 тис. тонн вугілля, 3 тис. тонн мазуту та 16,6 тис. Гкал теплової енергії. Оптимізація споживаної електроенергії при застосуванні нетрадиційних джерел живлення є актуальною темою на сьогоднішній день.

Система оптимізації являє собою постійну діяльність, що направлена на енергозбереження, яка не закінчується створенням типічних проєктів. Вона ґрунтується на перевірці виконаної роботи, враховує всі необхідні вимірювання та данні, включає в себе розробку, створення та впровадження енергозберігаючих заходів та «роботу над помилками». Тобто оптимізація електроенергії включає в себе набір заходів, спрямованих на економію ресурсів підприємства і є способом управління енергоспоживанням, що дозволяє значно оптимізувати обсяг енерговитрат.

Метою роботи є розробка оптимізації споживаної електроенергії на дистанції електропостачання при застосуванні нетрадиційних джерел живлення та формування збалансованого зв'язку «потреби енергії – пропозиція енергії» в залежності з витратами.

В роботі було проведено аналіз електроспоживання ЕЧ, виконані розрахунки при застосуванні нетрадиційних джерел живлення, побудовані графіки оптимізації споживання електроенергії. На території України зараз відбувається впровадження використання енергії сонця та енергії вітру, через що може бути не раціонально використовувати на дистанції лише один вид нетрадиційних джерел енергії. Найкращим вибором стане застосування сонячної батареї та вітрових турбін одночасно. Це дасть можливість менше залежити від погодних умов, та виробляти більше енергії. Невикористану електроенергію доцільно продавати державі. Так комбінація джерел енергії дасть можливість економити 20-30% коштів. Вдень дистанція повністю живитиметься власними джерелами енергії, та продаватиме залишки її назад до мережі. Вночі, коли енергії нетрадиційних джерел буде замало, нічні тарифи на електроенергію дадуть можливість значно економити кошти.

Висновок: Застосування нетрадиційних джерел живлення на дистанції електропостачання доцільно лише при одночасному використанні декількох їх видів. Але вітряки можливо використовувати згідно законодавства тільки за територією міста. В сонячні дні вона буде повністю забезпечуватись власними енергоресурсами а залишки віддавати в енергосистему мережі. Вночі, будуть застосовуватись двох тарифні лічильники «День – Ніч». Невирішеною проблемою залишається створення інтелектуальної системи управління цими процесами. Така оптимізація дозволить зменшувати потреби електроенергії.

Оцінювання значень температури масла силових трансформаторів в системах діагностування із використанням уточнених теплових моделей

Притискач І.В., Яременко А.Г., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Надійне функціонування систем електропостачання залізничного транспорту вимагає безвідмовної роботи основного обладнання електричних мереж, зокрема силових трансформаторів. Доцільним є виконання комплексного моніторингу такого обладнання, що включає його діагностування та оцінювання стану. Також, ефективне діагностування об-

ладнання відіграє вирішальну роль для впровадження систем технічного обслуговування за станом, що забезпечує зменшення витрат на поточну експлуатацію електромережевого обладнання.

Метою роботи є дослідження ефективності застосування в системах діагностування трансформатора сучасних теплових моделей, що враховують вплив вологовмісту масла на теплові характеристики трансформатора. При цьому доцільно виконати моделювання характерних температур трансформатора для оцінювання відмінностей у результатах із використанням різних моделей та перевірити результати використання уточненої моделі при зміні режимів роботи трансформатора.

Розрахунок базових значень діагностичних параметрів в системах діагностування виконується за допомогою математичних моделей фізичних процесів у трансформаторі, які описують його роботу в нормальному стані за відсутності дефектів.

Стандартна модель для визначення температури масла у верхніх шарах та температури найбільш нагрітої точки (ННТ) обмотки трансформатора описана в керівництві ІЕС 60076–7. Також використовуються уточнені моделі, де температура ННТ визначається із врахуванням нелінійності термічного опору масла. Такі теплові моделі враховують тільки теплові процеси в маслі. В них не враховуються вплив на теплові характеристики трансформатора вмісту вологи в маслі та паперово-целюлозній ізоляції, що може впливати на точність розрахунку значень температур масла та ННТ. При значних величинах вологовмісту та температури, теплопровідність паперово-целюлозній ізоляції може збільшитися на 50% що варто враховувати при тепловому моделюванні.

Для оцінювання роботи розглянутих моделей виконано моделювання теплових процесів в трансформаторі. Визначення температур із використанням всіх моделей, крім моделі ІЕС 60076-7, передбачає розв’язання нелінійних диференціальних рівнянь.

Результати моделювання температур масла та ННТ в різних режимах роботи показали, що у більшості випадків найбільші значення температури отримуємо із використанням моделі із врахуванням нелінійності термічного опору масла. Крім цього, ця модель показує більш різке збільшення температури при зміні навантаження трансформатора. Також можна відмітити, що врахування впливу наявності вологи в целюлозо-паперовій ізоляції, досить сильно впливає на результуючі значення температур.

Достовірність результатів розрахунків температур із використанням різних моделей перевірено із використанням експериментальних даних, отриманих на діючому трансформаторі.

Показано, що найбільш точні результати дає змогу отримати використання уточненої теплової моделі трансформатора, що враховує вплив вологовмісту масла на теплові характеристики трансформатора. Саме цю модель можна рекомендувати як основну для визначення базових значень температури масла в модулі аналізу системи діагностування.

Проблема стійкості системи тягового електропостачання за напругою при впровадженні високошвидкісного руху

Рогоза А.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На даному етапі розвитку електрифікованого залізничного транспорту виникає проблема забезпечення конкурентоспроможності з іншими видами транспорту, як при перевезенні пасажирів так і при доставці вантажів. Таким чином обумовлюється необхідність впровадження швидкісного і високошвидкісного пасажирського транспорту, а також великоवाгового руху потягів, що дозволить нарощувати провізну здатність залізниць.

Так як більшість ділянок залізниць мають систему тягового електропостачання, що спроектована на розміри руху, які відрізняються нині від наявної пропускної спроможності, то вже зараз окремі, найбільш навантажені ділянки Укрзалізниці, працюють без належних резервів, необхідних для запланованого об'єму перевезень. Відповідно, система тягового електропостачання в нових умовах підвищення рівня споживаної потужності і швидкості руху не в змозі забезпечити необхідний рівень питомої потужності тягової мережі та відповідну стійкість напруги на струмоприймачах електрорухомого складу. Особливо це проявляється на ділянках, електрифікованих постійним струмом, які характеризуються великими значеннями струмових навантажень і, як наслідок, більш суттєвим падінням напруги в контактній мережі, що негативно відображається на організації швидкісного та важковагового руху.

Оцінка впливу стійкості системи за напругою має істотне значення для роботи електрорухомого складу. Явище нестійкості за напругою може призвести до глобальних наслідків. Це визначається тим, що в ряді випадків різкі зміни напруги можуть спричинити надмірне зростання струму двигунів і тягових зусиль, порушення роботи локомотивів, тобто швидкість руху поїзда та пропускна здатність, поштовхи струму та тягового зусилля поїздів, здатність подолання інерційних підйомів, навантаження та робота пристроїв електропостачання. Особливо неприємні наслідки можуть при цьому виникнути у випадках роботи електровоза в режимі рекуперативного гальмування. Також порушення стійкості пов'язано з виникненням лавини напруги, що може охопити великі енергорайони або навіть всю систему.

За характером величина напруги на струмоприймачі відноситься до випадкових величин. Отже, такий же змінний характер матимуть і показники стійкості, тому для розрахунку стійкості за напругою застосовуються методи теорії ймовірності та математичної статистики. Обчислення ведуться на основі формул, виведених з урахуванням певних припущень.

Так як раніше стійкість тягових систем не розглядалась, то розрахунки велись за критеріями та формулами передбаченими для оцінки стійкості енергетичних систем. Для аналізу було обрано ділянку Придніпровської залізниці «П-Н», на основі експериментальних даних якої, було проведено розрахунок статичної та динамічної стійкості системи у парному та непарному напрямках за вимогами, що представлені у СОУ-Н МЕН 40.1-00100227-68-2012. Також, для більш наочного результату, було обчислено характеристики математичної статистики та математичного аналізу.

Проведені розрахунки доводять той факт, що існуюча система електричної тяги постійного струму потребує реконструкції та модернізації для забезпечення стійкості по напрузі та пропуску високошвидкісних і великовагових поїздів.

Особенности организации каналов передачи данных для “цифрового слоя” городской распределительной сети

Саенко Ю.Л., Дьяченко М.Д. (ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»)

Задачи оценки технического состояния электрооборудования и мониторинга сети в настоящее время приобретает особое значение. Обусловлено это, прежде всего, высоким уровнем износа сетей и оборудования, отсутствием простых и однозначных критериев оценки реального состояния оборудования, а так же тенденциями неуклонного роста нагрузок электропотребления.

Развитие информационных технологий позволяет решить ряд проблем для повышения надежности систем электроснабжения города, не внося особых изменений в структуру самой силовой сети, или, как принято называть “силового слоя”.

Попытки добавить “цифровой слой” к городской распределительной сети начались еще с 80х годов прошлого века. При этом в качестве основы основ “цифрового слоя” – каналов и средств передачи данных предлагалась использовать передачу высокочастотного сигнала по вы-соковольтным кабельным сетям – прообраз современных PLC модемов. По ряду причин такие технологии не нашли широкого применения в технологиях управления подстанциями из-за сложности прохождения сигнала через коммутационное оборудование.

На текущий момент имеется довольно большой выбор различных технологий передачи данных. Это широкополосные проводные и радиоканалы, оптические каналы связи, технологии “прыгающих частот” или шумоподобного сигнала для организации связи с распределительными подстанциями. Не останавливаясь конкретно на каждой из этих технологий можно констатировать, что применение их для решения нашей задачи вызывает ряд сложностей. И одна из них - экономическая.

Еще одна технология, о которой следует упомянуть, - это технология сотовой мобильной связи. Она доступна в любой точке города, обладает рядом достоинств и позволяет обеспечить надежную передачу данных.

Как бы хороши бы не были предлагаемые мобильными операторами услуги по оказанию GPRS TCP/IP связи необходимо проектировать также резервные каналы передачи данных. Дело в том, что услуга GPRS TCP/IP для мобильного оператора не является приоритетной, и он всегда имеет возможность разорвать связь при недостатке свободных каналов в пользу голосовой связи абонентов сети данной зоны (соты). Такие ситуации нередко возникают в густонаселенных районах города. Дальнейшее восстановление связи приводит либо к потере оперативных данных либо в задержке их получения и, конечно же, к увеличению трафика. Бывали случаи, когда TCP/IP канал по неизвестным, даже для мобильного оператора причинам, терялся на несколько суток даже при “белом” IP адресе.

Повышение надежности передачи данных может быть относительно легко достигнуто путем резервирования канала, например, с использованием UDP соединения вместо TCP, несмотря на кратковременно образуемый туннель обратной связи, а в особо непредсказуемых ситуациях нельзя отказываться и от DTMF канала передачи данных, несмотря на чрезвычайно низкую скорость обмена данных. В то же время имеется и более радикальный способ дублирования связи - дублирование оператора мобильной связи, современные GSM-модули предусматривают такую возможность.

В итоге можно констатировать, то, что для организации мониторинга трансформаторных подстанций городской распределительной сети с точки зрения технико-экономических показателей целесообразно использовать услуги двух и более операторов мобильной связи реализуя основной канал по GPRS TCP/IP соединению с возможностью переключения на резервные сервисы передачи данных (UDP, CSD, DTMF).

Многолетнее использование такого подхода для реализации мониторинга городских подстанций доказала эффективность такого решения, как с точки зрения надежности обеспечения связи, так и с точки зрения минимизации затрат на нее.

Оптимизация режимов реактивной мощности при помощи нейронных сетей и методов градиентного приближения

Саенко Ю.Л., Любарцев В.В. (ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»)

Увеличение вычислительных мощностей, доступных сегодня, позволяет более глубоко исследовать процессы, происходящие в энергетике. На основании полученных знаний можно принимать взвешенные и экономически обоснованные решения, позволяющие оптимизировать и улучшать режимы работы энергосистем. Принимая во внимание не только какую-то локальную часть системы, а рассматривая её в целом, появляется возможность выявлять зависимости, между отдельными её частями, что позволяет более точно рассчитывать возможные режимы работы, и находить наиболее оптимальный с экономической точки зрения.

Перспективным является исследование и дальнейшая оптимизация режимов реактивной мощности энергосистем. В первую очередь это связано с тем, что активная мощность тратится на преобразование в другие виды энергии и является полезной, уменьшение её потребления возможно только экономией со стороны потребителя, оптимизацией производственного процесса и т.д.

Уменьшить затраты, связанные с протеканием реактивной мощности по элементам электрической сети возможно при обеспечении оптимального $\lg \varphi$ в точке разграничения с энергосистемой. Однако при этом остаются неучтёнными перетоки реактивной мощности между узлами сети внутри предприятия. Это может вызывать повышенные потери активной мощности, вызванные протеканием реактивной в элементах электрической сети.

Наиболее эффективным решением данной проблемы является прогнозирование реактивных нагрузок и дальнейшая компенсация в соответствии с прогнозом. Наименьшую погрешность прогнозирования в совокупности с устойчивостью к ошибкам выборки и учётом дополнительных параметров обеспечивает применение нейронных сетей, которые будучи требовательными к вычислительным ресурсам обеспечивают погрешность прогнозирования на уровне 3-5%.

Для поддержания оптимального режима работы сети необходимо правильно распределить реактивную мощность по узлам схемы, поскольку изменение реактивной нагрузки в одном узле приведёт к перераспределению потоков во всех узлах схемы. Для решения такой задачи используются градиентные методы оптимизации, использующие итерационные алгоритмы постепенного приближения к оптимальному решению. Для определения движения к минимуму рассчитываются частные производные суммарных затрат (целевой функции) по мощности компенсирующего устройства (КУ) в каждом узле. Далее доли мощности КУ распределяются между узлами пропорционально значений производных до тех пор, пока производные во всех узлах не будут близки к нулю, что обеспечит минимум затрат.

Огляд сучасного програмного забезпечення для моделювання та розрахунку тягових мереж

Саломатова О.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Розрахунки систем тягового електропостачання відносяться до тієї частини наукової, проектної та експлуатаційної діяльності в області тягового електропостачання, яка не може бути замінена інструментальними вимірами, зважаючи на їх велику трудомісткість і

вартість. Адекватне моделювання зовнішнього і тягового електропостачання дозволяє уникнути значних похибок у розрахунках системи електропостачання залізниць, а поліпшення методів і засобів аналізу забезпечує підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів і дає ефект, рівносильний ефекту від спорудження додаткових енергетичних установок.

Однією з особливостей розрахунку тягових мереж є те, що на процес електропостачання тягового навантаження впливає безліч різноманітних факторів, як випадкового так і детермінованого характеру. Застосування для розрахунку імітаційних засобів моделювання систем тягового електропостачання дозволяє враховувати більшу частину таких факторів.

На сьогоднішній день, в країнах СНД, найбільше поширення отримав програмний комплекс КОРТЕС, розроблений всеросійським науково-дослідним інститутом залізничного транспорту (ВНДІЗТ).

Програмний комплекс КОРТЕС призначений для вирішення на персональних ЕОМ в середовищі Windows 98/2000/XP різних розрахункових задач, пов'язаних з вибором параметрів, визначенням характеристик режимів і навантажувальної здатності систем тягового електропостачання та їх окремих елементів.

Серед основних можливостей, реалізованих у КОРТЕС, можна відзначити наступні:

- визначення тягової навантаження з урахуванням рекуперації енергії, а також кратності тяги по окремих перегонах ділянки;
- виконання електричних розрахунків на основі моделювання графіка руху поїздів різних категорій – швидкісних пасажирських, вантажних (у тому числі підвищеної маси), приміських та ін;
- розрахунок схем живлення фідерних зон від декількох тягових підстанцій при наявності прилеглих ділянок;
- облік реальної схеми підключення фідерів підстанцій і постів секціонування до контактної мережі при заданому розташуванні повітряних проміжків.

Комплекс КОРТЕС має гнучку структуру і включає в себе програмні модулі різного призначення, пов'язані загальними базами даних і засобами управління. Набір модулів може поповнюватися компонентами для вирішення специфічних завдань в області проектування систем електропостачання та їх експлуатації.

В країнах Європи найбільш відомими є програмні комплекси Open Power Net та Sitras Sidytrac розроблені в Німеччині, в США – програмний комплекс eTraX.

Open Power Net - це програмне забезпечення призначене для моделювання та розрахунку електричних мереж, розроблене Дрезденським інститутом залізничної техніки. Open Power Net здатний імітувати залізничні тягові мережі змінного та постійного струму з врахуванням електричної структури мережі. Його можна використовувати як інструмент прогнозування та аналізу енергії та для планування і оптимізації пристроїв електропостачання. Open Power Net використовується разом з швейцарським симулятором експлуатації залізниць OpenTrack, в якості так званого «сумісного симулятора». Модуль здатний імітувати залізничні тягові мережі змінного та постійного струму з врахуванням електричної структури мережі. Його можна використовувати як інструмент прогнозування та аналізу енергії та для планування і оптимізації пристроїв електропостачання. Модуль OpenTrack моделює рух поїздів за розкладом, даними інфраструктури та параметрами поїздів. Модуль Open Power Net імітує всю електричну мережу з врахуванням струмових навантажень від поїздів та їх положення.

Основні функціональні можливості комплексу:

- аналіз поточкорозподілення для мереж змінного та постійного струму;
- розрахунок тягових зусиль;

- розрахунок зусилля гальмування та відновлення енергії для моделювання і аналізу мережі;

- удосконалена модель поїзда з тяговим струмом, коефіцієнтом потужності від напруги, рекуперативного гальмування, вихрострумowego гальмування;

- автоматичний розрахунок магнітного зв'язку між провідниками;

- моделювання джерел живлення, таких як випрямляч/інвертор, трансформатор, перетворювач;

- розрахунок струму короткого замкнення вздовж лінії;

- енергетичний баланс;

- аналіз завантаження обладнання;

- розрахунок напруги дотику;

- розрахунок та візуалізація електромагнітного поля

- візуалізація результатів;

- автоматизований аналіз формує таблиці та діаграми на будь-якій мові за конфігурацією користувача.

Sitras Sidytrac – розробка німецької компанії Siemens, призначена для симуляції тягових мереж змінного та постійного струму. Основні можливості комплексу:

- імітування діяльності поїзда;

- розрахунок струмів короткого замкнення вздовж окремих ділянок лінії;

- розрахунок наведеної напруги в паралельних провідниках;

- оптимізація режимів живлення;

- визначення місця розташування підстанцій;

- розрахунок енергоспоживання для залізничних колій;

- розрахунок та оцінка діяльності в надзвичайних ситуаціях;

- розрахунок опорів ліній та розрахунок потенціалів вздовж ліній;

- розрахунок розподілення струму контактної мережі;

- розрахунок захисту;

- контроль якості електричної енергії;

- розрахунок перешкод, магнітних полів та електромагнітної сумісності.

Програмне забезпечення eTraX, розроблене американською компанією ETAP, включає в себе точний та гнучкий програмний інструментарій для аналізу та управління системами тягового електропостачання. Використання eTraX дозволяє моделювати, прогнозувати та оптимізувати залізничну інфраструктуру.

Основні функції, реалізовані в програмному забезпеченні:

- синхронізована геопросторова та інтелектуальна он-лайн візуалізація;

- вбудовані шаблони тягового силового обладнання;

- аналіз кореневих причин подій чи збоїв;

- використання обладнання, що відповідає міжнародним стандартам;

- концептуальне проектування та дослідження системної інтеграції та експлуатації;

- оцінка потужності підстанцій для існуючих чи запланованих залізничних операцій;

- моделювання поїзда з розширеною конфігурацією;

- контроль якості електричної енергії: система імітує гармонічні джерела струму та напруги, проектує та тестує фільтри;

- інтелектуальний моніторинг живлення та прогностичне моделювання в режимі реального часу.

Проаналізувавши можливості сучасних програмних комплексів для розрахунку тягового електроспоживання, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день, їх використання дозволяє змоделювати тягові мережі з максимальним наближенням до реальних умов роботи. Використання такого програмного забезпечення дозволяє стандартизувати

та автоматизувати робочі процеси, що зменшить можливість похибок та суттєво підвищить ефективність тягових розрахунків.

Якість електроенергії на шинах тягових підстанцій при паралельній роботі з сонячною та вітровою електростанціями

Сиченко В.Г., Хімоненко В.Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; Пулін М.М. (Львівська залізниця)

Інтеграція джерел розподіленої генерації (ДРГ) в систему тягового електропостачання постійного струму вимагає розробки нових принципів проектування, функціонування і управління режимами роботи тягового електропостачання. Необхідність їх розробки обумовлена наступними чинниками: змінюється структура електричної системи, потужність генерації ДРГ визначається зовнішніми чинниками (в першу чергу інтенсивністю сонячного випромінювання і вітрового потоку) та мало залежить від режиму роботи електричної мережі, до якої вони приєднані, установки ДРГ можуть мати коливальний або переривчастий характер генерації потужності, яка може привести до сильних коливань потужності в системі і впливати на режими її роботи. Звідси, необхідно вирішувати низку запитань: визначення впливу ДРГ на стабільність роботи тягових підстанцій, тягових і інших споживачів, які приєднані до шин тягової підстанції з урахуванням допустимих режимів роботи споживачів, розробка рекомендацій відносно особливостей приєднання цього типу генерації до електричних мереж залізниць, функціонування пристроїв релейного захисту і автоматики, забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів з необхідними якісними характеристиками, типу вживаного накопичувача і місця його установки. На сьогоднішній вирішення вказаних завдань здійснюється з застосуванням смарт-технологій, одним із завдань яких є, у тому числі, забезпечення якості електричної енергії.

Якість електропостачання і умови використання енергії залежать від різних чинників, включаючи опір електричних мереж, а також вплив деяких видів устаткування і використання енергії на характеристики енергопостачання. У енергетичних системах украї бажані стабільність напруги, а також відсутність спотворень форми напруги і струму.

На сьогодні на Україні також реалізовано пілотні проекти паралельної роботи СЕС та зовнішньої системи електропостачання для живлення шин 10 кВ на тяговій підстанції Самбір та ВЕС для живлення шин 35 кВ на тяговій підстанції Старий Самбір.

В доповіді приводяться результати досліджень якості електричної енергії на вказаних тягових підстанціях та розглядаються напрямки застосування ДРГ у системах тягового електропостачання.

Розробка енергоефективної технології перевізного процесу при сумісній роботі системи централізованого тягового електропостачання та системи розподілених альтернативних джерел електроенергії

Сиченко В.Г., Кузнецов В.Г., Вернигора Р.В., Огороков А.М., Папахов О.Ю., Логвінова Н.О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день ефективна організація руху транспортних засобів розвивається в напрямку розробки технологій енергоекономічного управління їх рухом у реальному часі (ECO-driving). Враховуючи, що інфраструктура електрифікованого транспорту, поєд-

наного єдиною живлячою мережею, є найбільш придатною до застосування інформаційних технологій управління енергоефективністю (рухом транспортних засобів та оптимальним енергорозподілом між окремими елементами системи електропостачання) то в ній можуть бути організовані оптимальні режими електроспоживання, здатні забезпечити мінімізацію споживання електричної енергії з урахуванням диференціації тарифів на електроенергію та оптимізованих графіків руху поїздів. Потужним інструментом у реалізації даних властивостей транспорту є концепція розумних мереж SMART GRID, яка сьогодні успішно використовується для інтелектуального управління локальними електромережами загального призначення.

Існуючі системи тягового електропостачання були введені в експлуатації в середині минулого століття. На даний час основне силове обладнання електропостачання залізниць зношене на 70-80% і не забезпечує раціональну каналізацію електричної енергії. У відповідності до Енергетичної стратегії України до 2030 р. активно розвивається альтернативна генерація. Це підвищує енергетичну безпеку країни, зменшує залежність від постачання паливно-енергетичних ресурсів з інших країни. При впровадженні альтернативних джерел генерації електричної енергії для живлення споживачів залізниць виникає завдання по розробленню раціональної технології сумісної роботи класичних систем електропостачання тяги поїздів та альтернативних джерел енергії. При цьому необхідно визначити раціональні параметри систем, запропонувати модернізовані методи розрахунку, визначитись з принципами діагностування таких систем з метою захисту від аварійних режимів та забезпечити їх надійність. Вирішення даної проблеми потребує комплексного підходу, вирішення низки теоретичних питань з теорії електромагнітної сумісності, надійності тягового електропостачання та організації руху поїздів.

Наукове обґрунтування пропонованої енергоефективної технології сумісної роботи системи централізованого тягового електропостачання та системи розподілених альтернативних джерел електроенергії наряду з оптимальною організацією руху поїздів може бути виконано з аналізу покращення енергетичних показників транспортної системи на основі автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії. Це буде зроблено шляхом порівняння витрат та втрат електроенергії до і після впровадження розроблених технологій. Розроблені схемні рішення по побудові системи розподіленого вимірювання напруги, системі пунктів підживлення, системі автоматизованого діагностування, які в сукупності будуть реалізовувати енергоощадну технологію перевізного процесу є корисними практико-методичними напрацюваннями.

Несиметрична система підсилення тягової мережі постійного струму

Сиченко В.Г., Рогоза А.В., Шмиголь Д.О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; Пулін М.М. (Львівська залізниця)

Для підвищення техніко-економічних показників існуючих ділянок електричних залізниць постійного струму застосовується низка технічних та організаційних заходів: використання пунктів паралельного з'єднання (ППЗ); збільшення перерізу проводів контактної мережі; будівництво додаткових тягових підстанцій; застосування блоків розподіленого живлення; повна заміна шестипульсових випрямлячів на дванадцятипульсові; розробка і випуск випрямлячів з оптимальною шкалою номінальних потужностей; розширення сфери рекуперативного гальмування і експлуатаційне освоєння дванадцятипульсових прямо-інверторних перетворювачів; експлуатаційне освоєння ефективних схем згладжуючих фільтрів тягових підстанцій постійного струму; встановлення на фідерній зоні вольтододаткових пристроїв ВДП з регулюванням напруги; збільшення потужності тягових

підстанцій і зменшення відстані міжподстанційних зон; підсилення зовнішнього електропостачання і обмеження відхилення рівня напруги на вводах тягових підстанцій.

Сучасний стан тягового електропостачання постійного струму характеризується зростаючим дефіцитом електричної енергії для забезпечення необхідного режиму напруги в тяговій мережі при впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху. Використання існуючих засобів підсилення в багатьох випадках не забезпечує необхідних енергетичних показників і є досить дорогим. Іншою актуальною проблемою є неможливість забезпечення необхідного рівня напруги в окремих перетинах тягової мережі, що призводить до необхідності обмеження розмірів руху або швидкості поїздів.

При нормальній схемі живлення міжпідстанційної зони напруга на струмоприймачах електровозів змінюється в значних межах. При цьому, ніж більша потужність споживається електровозом, тим більші межі змін напруги. Вказані фактори визначають необхідність оцінювати стійкість системи тягового електропостачання по напрузі. При аналізі стійкості режимів по напрузі важливо не лише визначити граничний режим і відповідну йому критичну напругу, але і досліджувати, як саме впливають параметри системи тягового електропостачання і режими її роботи на величину критичної напруги. Саме такий аналіз є основою для розробки ефективних заходів для запобігання порушенням стійкості по напрузі.

Найчастіше поліпшення режиму напруги виконується за рахунок тривіальних малозатратних заходів, недостатніх при збільшенні тягових навантажень, що виникають при збільшенні швидкостей руху. При цьому, як показують розрахунки, існуюча схемотехніка тягових мереж не завжди забезпечує стійкість по напрузі.

В доповіді проаналізовані схеми тягового живлення, наведено результати їх розрахунків по стійкості на надано рекомендації що переходу до несиметрих схем підсилення.

Адаптивные процедуры корректировки режимных карт вождения грузовых поездов с использованием данных систем спутниковой навигации

Скалозуб В.В., Иванов А.П., Иванов И.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В докладе исследуются вопросы повышения эффективности использования электрической энергии или дизельного топлива, потребляемого силовым приводом тягового подвижного состава грузовых поездов, путем корректировок режимов ведения с учетом оперативной информации о фактическом положении и скоростях движения, получаемой из систем спутниковой навигации (ССН) железнодорожного транспорта Украины. В настоящее время проблема энергоэффективности тяги поездов становится все более актуальной, что обусловлено повышением тарифов на электроэнергию и топливо.

Основным подходом снижения удельного расхода потребляемой энергии является разработка и внедрение оптимальных технологических режимных карт (РК) управления силовым приводом тяговой единицы по критерию минимального расхода электроэнергии. На практике используют методы расчета оптимальных режимов ведения для поездов с унифицированной весовой нормой и заданных графиках движения. В них критерии оптимизации не учитывают специфику конкретного подвижного состава, возможности наложения нитей графиков, а также отклонений от нормативного режима управления тягой. Это приводит к ошибочным результатам при оценке расчетных параметров режимов работы силового привода и к увеличению потребления энергоресурсов. Важной проблемной задачей также является сопоставление режимной карты и ее фактического использования машинистом, которая существенно усложняется при отклонении движения поезда от гра-

фика. Во многих случаях реальные режимы управления тягой поездов на участке зависят от опыта и профессиональной подготовки машиниста.

Для решения задачи адаптации режимных карт в условиях отклонения движения поезда от графика, а также для обеспечения требований по оптимальной корректировке режимов тяги, предлагается использовать, как дополнительную информацию, данные систем ССН АСУ в составе железнодорожных интеллектуальных транспортных систем. Установлено что с внедрением систем спутниковой навигации на железных дорогах Украины возможности решения задачи адаптации РК существенно упрощаются, за счет непрерывного и оперативного получения данных о точной геопозиции подвижной единицы (скорости и направления движения) и ее привязке к километрово-пикетной разметке. Опираясь на данные о конкретном подвижном составе (его фактический, а не нормативный вес), информацией об актуальном состоянии перевозочного процесса, ставится и решается задача расчета оптимальных режимов управления движением «по отклонениям» от режимной карты для данного участка.

Для управления движением поездов при отклонении исполненного графика от нормативного решается задача выбора таких оптимальных корректировок РК с учетом оперативных данных ССН о состояниях перевозочного процесса, которые обеспечивают минимум потребления энергоресурсов для перевода поезда в нормативный режим движения. Реализация процедур адаптации РК выполняется для детерминированных и нечетких моделей управления электрической тягой поездов. В работе приводятся данные о ССН АСУ Украины, а также примеры расчетов оптимальных режимов адаптации РК.

Алгоритм контролю втрат електроенергії, що враховує імовірнісний характер руху поїздів

Скрипник О.А., Друбєцька Т.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Пристрої тягового електропостачання утворюють складну систему, контроль роботи якої дозволяє підтримувати оптимальні режими, які характеризуються найменшими витратами на її експлуатацію. У такій складній системі контроль здійснюється як апаратними засобами, так і алгоритмічними методами. До апаратних засобів контролю відносяться численні прилади - лічильники електроенергії, вольтметри, амперметри, показники положення позицій АН цапф трансформаторів та інші. Алгоритмічні ж засоби контролю складають різні алгоритми по оцінці параметрів режиму системи тягового електропостачання. Прикладом такого контролю є контроль втрат електроенергії, як у трансформаторах, так і в тяговій мережі; статистичні оцінки цілого ряду показників якості електроенергії, як на шинах тягових підстанцій, так і на струмоприймачах електрорухомого складу. Однак далеко не всі проблеми в цій галузі вирішені до кінця. Прикладом можуть служити проблеми контролю втрат електроенергії в трансформаторах і тягових мережах, контроль зрівняльних струмів. Необхідність поєднання апаратних і алгоритмічних методів контролю параметрів режиму роботи систем тягового електропостачання пояснюється тим, що частина параметрів режиму може бути проконтрольована не в повному вигляді або контроль складний, або зовсім недоступний. У зв'язку з цим застосовуються методи, що поєднують алгоритмічний і апаратний контроль. До таких слід віднести непрямі методи контролю зрівняльних струмів, втрат енергії в тяговій мережі, контроль відпрацьованого ресурсу трансформаторів та інші.

Втрати енергії в трансформаторах є випадковою величиною і повинні розраховуватися з урахуванням нерівномірності електроспоживання в часі, нерівномірності електропоживання за фазами (несиметрія струмів) і несинусоїдальності струмів.

Дослідження показали, що відносні втрати енергії описуються нелінійним виразом. Ці втрати різко зростають при зменшенні завантаження трансформатора, оскільки при цьому навантажувальні втрати прагнуть до нуля, а втрати холостого ходу, які не залежать від навантаження, віднесені до величини цього навантаження, різко зростають. Більш плавно відносні втрати змінюються в діапазоні від 50-100%.

При виконанні розрахунків систем тягового електропостачання доцільно використовувати як детерміновані, так і імовірнісні графіки руху поїздів. Рациональні області застосування детермінованих графіків визначаються необхідністю оцінки режимів роботи в найбільш навантажені періоди (пакетний графік руху в період відновлення нормального графіка після «вікна»).

Інтелектуальна система балансування рівнів напруги на послідовно з'єднаних накопичувачах акумуляторної підстанції

Стисло Б.О., Васильєв М.А. (НТУ «ХПІ»)

Підвищення енергоефективності та зниження енергоємності залізничної галузі можливе за рахунок впровадження в існуючі системи електропостачання батарейних систем накопичення енергії (БСНЕ), призначених для накопичення енергії рекуперації та компенсації піків споживаного струму і провалів напруги шляхом повернення енергії з накопичувача в контактну мережу. Стрімкий розвиток силової електроніки та поява на ринку нових типів накопичувачів електричної енергії дозволяють створювати сучасні енергоефективні БСНЕ з високими динамічними властивостями. Серед існуючих типів електрохімічних накопичувачів електричної енергії найкращі енергетичні характеристики мають LiFePO_4 акумулятори, що поєднують в собі всі переваги літєвих акумуляторів, до того ж є цілком безпечними з міркувань пожежонебезпеки. Відомо, що правильна експлуатація акумуляторних батарей дозволяє збільшити їх ресурс від 2 до 7 тис. зарядо-розрядних циклів. Задача вирівнювання рівнів напруги на послідовно з'єднаних акумуляторах, контроль за припустимими значеннями рівнів напруги на кожному з акумуляторів стеку покладається на систему енергоменеджменту батареї (Battery Management System - BMS). Авторами пропонується для реалізації цих задач використання інтелектуальної BMS на основі схеми активного балансира. В процесі балансування напруги на послідовно з'єднаних акумуляторах відбувається процес обміну енергією між акумуляторами. Інтелектуальна система балансування має обрахувати ще на початку балансування рівень напруги u_{eq} , до якого відбувається балансування. Ця величина дозволяє визначити які з акумуляторів мають надлишковий запас заряду, а які потребують додаткового заряду а також завершити процес передачі енергії при досягненні на акумуляторі рівню напруги u_{eq} . Очевидним здається що наприкінці балансування напруга u_{eq} на кожному з двох акумуляторів буде становити величину $1/N$, де N – кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, проте, простий аналіз схеми з послідовно з'єднаних конденсаторів – як еквівалент акумуляторної батареї в першому наближенні, дозволяє спростувати висунуте припущення. Реальне значення напруги балансування має бути визначене через величину енергій заряджених конденсаторів: $u_{eq} = 0,5 \cdot \left(\sum u_{Ci}^2 \right)^{1/2}$. Система керування BMS реалізує алгоритм прогнозного регулятора, що дозволяє зменшити кількість датчиків в системі, обмежившись лише одним – датчиком напруги на вимірювальній обмотці трансформатора. Всі інші параметри схеми (струм заряду, розряду, рівень розбалансування та величині внутрішній опір кожної батареї) обчислюються цифровою системою керування. Для зменшення потужності статичних втрат в силових ключах схеми використовуються синхронні випрямлячі. Зменшення потуж-

ності динамічних втрат досягається специфікою режиму роботи перетворювача - його роботою в режимі гранично-переривчастого магнітного поля. Оскільки в процесі балансування змінюються рівні напруги на акумуляторах, які балансуються, то для забезпечення гранично-переривчастого режиму роботи перетворювача коефіцієнт заповнення імпульсів керування силовими ключами має визначатися системою керування на кожному такті ШІМ і становить $D = U_{min} / U_{min} + U_{max}$. Максимальне припустиме значення струму I_m обмежується індуктивністю дросель-трансформатора, параметри якого визначаються за виразом $L = (0,5 \cdot T \cdot U_m) / I_m$, де U_m – максимально припустиме значення напруги на акумуляторі. Таким чином, інтелектуальна *BMS* виконує всі вимоги, що висуваються до подібних систем, а її застосування спільно з енергоємними акумуляторами – значною мірою покращити параметри системи електроживлення.

Ефективність використання енергії рекуперації у системах тягового електропостачання та шляхи її використання

Стороженко А.С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Одним з особливих режимів роботи електричних локомотивів на залізниці є режим рекуперативного гальмування, адже при гальмуванні кінетична енергія локомотива, що набрав швидкість марно втрачається.

Застосування рекуперативного гальмування передбачає низку особливостей: перехід машиністом локомотиву з режиму тяги на режим рекуперації, при цьому його швидкість повинна бути не менше 50 км/год та у момент переходу на рекуперативне гальмування поруч повинен бути споживач, який зможе прийняти електричну енергію, яка при рекуперації потрапила до тягової мережі. Якщо виконати останню вимогу немає можливості, надлишкова електрична енергія може накопичуватися або ж повертатись назад до тягової підстанції за допомогою відсмоктуючого фідера. При цьому виникає питання якості електричної енергії, яка пройшла кілька стадій трансформації, випрямлення та через тягову мережу.

Одним зі шляхів використання енергії рекуперації може бути збільшення відстані між тяговими підстанціями за рахунок додаткового прийому потужності у тягові мережі.

Використання рекуперованої електричної енергії суттєво впливає на проблеми економіки та енергетичної кризи, сприяє подальшому розвитку в енергетичному секторі та покращує фінансовий стан залізниці. Але найкращім варіантом застосування рекуперативної енергії все ж таки є повне її споживання іншим локомотивом.

Впровадження рекуперативного гальмування впливає не лише на зменшення зносу гальмівних колодок локомотиву, порівняно з механічним гальмуванням, але має більш економічний ефект з точки зору зменшення витрат на купівлю електричної енергії з контактної мережі за рахунок неодноразового використання отриманої величини електричної потужності декількома електричними локомотивами.

Рекуперація електричної енергії дозволяє здійснити надійне гальмування рухомого складу, вона зменшує знос гальмівних колодок вагонів і бандажів колісних пар, що має місце при механічному гальмуванні. При рекуперації зменшується споживання електроенергії з мережі системи на тягу поїздів.

В докладі проаналізовані шляхи ефективного використання енергії рекуперації в системах тягового електропостачання. Показано, що в перспективних системах тягового електропостачання доцільно представити струм рекуперації, як суму п'яти складових. Це

дає змогу побудувати нечіткі алгоритми управління розподілом надлишком енергії рекуперації.

Енергоефективність розподільчих мереж в умовах реформування енергоринку України

Ткач О. В., ПАТ Укрзалізниця

1. Діюча модель енергоринку «Єдиного покупця».

Сьогодні ринок діє за моделлю єдиного покупця, тобто стара британська модель єдиного пулу 20-річної давнини. Вся вироблена електроенергія продається виробниками в Оптовий ринок електричної енергії (ОРЕ) України. ОРЕ України діє в особі державного підприємства "Енергоринок". Купують електричну енергію постачальники за регульованим (обленерго) і нерегульованим (незалежні постачальники) тарифами для подальшого постачання споживачам.

Усі ліцензовані виробники та постачальники електроенергії є членами ОРЕ і працюють на ринку відповідно до укладених договорів про купівлю-продаж електроенергії з ДП "Енергоринок". Діючий ринок регулюється в ручному режимі, коли ціни на генерацію, передачу та постачання встановлює регулятор – НКРЕКП.

2. Новий Закон «Про ринок електричної енергії України»

Новий Закон "Про ринок електричної енергії України" набрав чинності 08 червня 2017 року. У ньому враховані вимоги Третього енергетичного пакета, відповідно до якого нинішні обленерго зобов'язані відокремити свою діяльність з розподілу від діяльності з постачання електричної енергії. По суті, обленерго мають бути розділені на дві окремі компанії:

- оператор системи розподілу - забезпечує надійну та безпечну експлуатацію, технічне обслуговування й розвиток системи розподілу та здійснює розподіл електроенергії;
- електропостачальник — постачає (продає) електроенергію споживачам, користуючись мережами операторів системи розподілу.

Оператор системи розподілу здійснюватиме розподіл електричної енергії від магістральних мереж до споживача та відповідно відповідатиме за її якість.

ПАТ «Укрзалізниця» має ліцензію на провадження господарської діяльності з розподілу (передачі) електричної енергії місцевими (локальними) електромережами і, відповідно, має реагувати на зміни у законодавстві.

3. Енергоефективність розподільчих мереж.

Запровадження пристроїв компенсації реактивної потужності є актуальним в умовах реформування ринку електричної енергії та майбутнього переходу до стимулюючого тарифоутворення, коли прибуток енергорозподільної компанії напряму буде залежати від ефективності роботи її електричних мереж.

8 грудня 2017 року в Міненерговугілля відбулась нарада з підвищення енергоефективності роботи розподільчих мереж за рахунок компенсації реактивної потужності за участю ДП «НЕК «Укренерго», Держенергонагляду, технічних директорів енергопостачальних компаній, фірм-виробників та науково-дослідних інститутів.

Завданням наради було інформування щодо сучасних розробок у галузі нормативних документів з питань компенсації реактивної потужності, сучасних технічних засобів компенсації, подолання методологічних протиріч та вироблення спільного підходу до широкого впровадження компенсуючих пристроїв для підвищення енергоефективності роботи електричних мереж.

Відзначено, що питанню компенсації реактивної потужності протягом досить тривалого часу не приділялась належна увага.

19 енергорозподільних компаній у 2017 році розробили ТЕО щодо встановлення регульованих пристроїв компенсації реактивної потужності в електричних мережах, деякі з компаній уже мають проектно-кошторисну документацію.

4. Сучасні пристрої компенсації реактивної потужності.

Розвиток та еволюція пристроїв компенсації реактивної потужності в сучасних умовах постійно зростаючого попиту є динамічними.

Проте, особливість режимів роботи тягової мережі змінного струму (нелінійність навантаження) створює певні вимоги для застосування компенсувальних пристроїв у енергетиці залізниць – потрібне автоматичне регулювання компенсації реактивної потужності

Дослідження застосування теплових насосів в енергетиці

Турчин О.В., Ляшук В. М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Україна має високий енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод. За різними оцінками, ресурси геотермальної теплоти можуть забезпечити роботу ГеоТЕС загальною потужністю до 200-250 млн. кВт (при глибинах буріння свердловин до 7 км і термінах роботи станцій до 50 років), а також систем геотермального теплопостачання загальною потужністю до 1,2-1,5 млрд. кВт (при глибинах буріння бурових свердловин до 4 км при тому ж періоді експлуатації). Це еквівалентно $3,4 \cdot 10^{11}$ тон умовного палива.

Теплові насоси можна використати майже скрізь. Тепловий насос є пристроєм, що дозволяє використовувати теплову енергію, накопичену в навколишньому середовищі. Вони являються одним з найдешевших в експлуатації джерел тепла, які використовуються для обігрівання будинків й нагрівання води через те, що використовується відновлювана енергія.

Принцип дії теплового насосу ґрунтується на відомих фізичних явищах і описує термодинамічний цикл, під час якого відбуваються чотири процеси. Спочатку у випарнику робоче тіло (рідина) піддається випаровуванню (так отримують тепло з навколишнього середовища). Потім у компресорі відбувається стискання пари робочої рідини, після чого вона, маючи високу температуру та тиск, піддається процесу конденсації (так тепло віддається до системи). Завершальним є процес, під час якого робоча рідина розширюється. Він реалізується на розширювальному клапані, що дозує робочу рідину до випарника. Розрізняють наступні типи теплових насосів:

По виду передачі енергії теплові насоси бувають двох типів:

- компресійні. Основні елементи установки - це компресор, конденсатор, розширювач і випарник. Використовується цикл стискання-розширення теплоносія з виділенням тепла. Цей тип теплових насосів простий, високоефективний і найбільш популярний.

- Абсорбційні. Це теплові насоси нового покоління, що використовують як робоче тіло пару абсорбент-хладон. Застосування абсорбенту підвищує ефективність роботи теплового насоса.

По джерелам тепла виділяють наступні види теплових насосів:

- Геотермальні. Теплова енергія береться з ґрунту або води.
- Повітряні. Тепло витягується з атмосфери.
- Які використовують вторинне тепло. Як джерело тепла використовуються повітря, вода, каналізаційні стоки.

По виду теплоносія вхідного/вихідного контуру:

- Теплові насоси «повітря-повітря». Цей вид теплових насосів забирає тепло у більш холодного повітря, ще більше знижуючи його температуру, і віддає його в опалювальне приміщення.

- Теплові насоси «вода-вода». Використовується тепло ґрунтових вод, яке передається воді для опалення та гарячого водопостачання.

- Теплові насоси «вода-повітря». Використовуються зонди або свердловини для води і повітряна система опалення.

- Теплові насоси «повітря-вода». Атмосферне тепло використовується для водяного опалення.

- Теплові насоси «ґрунт-вода». Труби прокладаються під землею, і по ним циркулює вода, яка забирає тепло з ґрунту.

В Україні експлуатується 9,3 млн. приватних будинків із загальною площею 515,8 млн. м². Для їх теплопостачання можна використовувати теплові насоси з теоретичним запасом теплової енергії 525 855 тис. МВт*год на рік. Це і є теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, що значно перевищують потреби енергії для опалення житлових будинків.

У середньому, щороку, населенню України продається котельно-підного палива в обсязі, еквівалентному 26 872 тис. т у. п., у вигляді природного газу, коксу, вугілля, торфу, вугільних та торф'яних брикетів, рідкого підного палива, дров.

Застосування теплових насосів на трансформаторних підстанціях - це один із способів використання тепла, що виділяється силовими масляними трансформаторами для цілей теплопостачання електричних підстанцій. Встановлення теплового насоса не вимагає великих капітальних витрат і може бути рекомендована до застосування як для діючих так і для підстанцій які проектуються.

Завдання зниження витрати електричної енергії на власні потреби підстанцій є одним з аспектів загальної проблеми щодо зниження рівня втрат і підвищенню ефективності роботи електроенергетичних систем, яка набуває в даний час все більшого значення.

Теплові втрати в трансформаторах великої потужності складають сотні кіловат. Для зниження цих втрат здійснюється цілий ряд заходів, що проводяться як на стадії конструювання і виготовлення трансформаторів, так і в процесі їх експлуатації в енергосистемах. Однак теплові втрати трансформаторів і автотрансформаторів можна не тільки знижувати, але і корисно використовувати, для цілей теплопостачання.

Залежно від типу, кількості і потужності, встановлених трансформаторів, їх навантаження, необхідного теплового продуктивності, виду використовуваного теплоносія в системі опалення (трансформаторне масло, вода, повітря) і віддаленості споживачів можуть застосовуватися різні схеми відбору тепла:

- з безпосередньою подачею нагрітого масла в систему опалення;
- з нагріванням води в масло-водяному теплообміннику;
- з нагріванням води за допомогою теплового насоса;
- з нагріванням повітря в масло-повітряному теплообміннику;
- з безпосереднім відведенням нагрітого повітря від охолоджуючих радіаторів;
- з нагріванням повітря в водо-повітряному теплообміннику.

Ми розглянемо схему нагрівання води за допомогою теплового насосу.

Нагріте масло з верхньої частини бака трансформатора масляним насосом подається в теплообмінник «масло - вода», де віддає теплоту іншому теплоносію, який циркулює в проміжному контурі між тепловим насосом і теплообмінником «масло-вода»

Нагріте масло з верхньої частини бака трансформатора масляним насосом подається в теплообмінник «масло - вода», де віддає теплоту іншому теплоносію, який циркулює в проміжному контурі між тепловим насосом і теплообмінником «масло-вода». У випарнику ТН теплоносієм віддає теплоту фреоновому контуру. Фреон, при надходженні теплоти

починає кипіти. Після стиснення компресором і конденсації в конденсаторі ТН температура фреону підвищується, і його теплота передається воді, яка подається споживачам.

При температурі масла 20-30 ° С температура води досягає значень 55-65 ° С.

Рациональне використання тепла обумовленого втратами силових трансформаторів, для покриття теплових навантажень є одним з можливих шляхів економії електроенергії на власні потреби підстанцій. Економічний ефект при цьому досягається за рахунок зниження частки електроенергії використовуваної на покриття теплових навантажень (а в ряді випадків також на охолодження і обдування трансформаторів) в загальному обсязі електроенергії, що витрачається на власні потреби підстанцій.

Отже, використання теплових насосів дозволить покрити велику частку потреб України в тепловій та електричній енергії та значно зменшити використання органічного палива. Згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. і подальша перспектива» річна економія палива за рахунок геотермальних джерел енергії в 2030 році досягне 7 млн. тонн умовного палива. Це дає нам величезну змогу використати заощаджені ресурси для розвитку економіки в цілому.

Перспективи застосування накопичувачів електроенергії в енергетиці

Тюрін М. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день досить активно починає розвиватися альтернативна енергетика. З кожним роком доля альтернативної енергетики зростає все більше. В даній сфері досить активно застосовуються технології у виробництві сонячної енергії та вітровою. Наприклад в березні 2017 року Німеччина генерувала відновлюваної енергії вітру 38,5 ГВт·г, а якщо розглядати разом сонячну и вітрові генерацію то 12,5 ТВт·г.[1]

Звісно, використання альтернативної енергетики має значні переваги перед традиційними видами енергії, це в основному обумовлено тим що дані види енергії можна вважати відновлювальними. Але все одно, застосування вітрових та сонячних електростанцій має значний недолік – це залежність від навколишніх умов, тобто наявність достатньо сильного вітру для обертання турбіни вітрогенератора та наявність достатньої освітленості, для максимальної генерації енергії сонячними електростанціями. Цей фактор може виступати однією із головних проблем нестабільності таких енергетичних систем.

Вирішення такої проблеми може слугувати застосування накопичувачів електроенергії в таких системах. Дана проблема вирішується тим що, в період максимальної генерації вітрових та сонячних електростанцій частина енергії перетворюється та направляється в загальну мережу, а інша застосовується для заряджання акумуляторних батарей. Також можливе використання гідроакумуляуючих електростанцій.[2] При цьому в період недостатньої генерації, до загальної мережі підключаються дані системи накопичення енергії і цим стабілізують систему.

Також застосування накопичувачів допомогло б вирішити проблему нестабільності енергосистеми не тільки при використанні альтернативних джерел, але й у періоди пікового використання енергії населенням. При цьому в період пікового використання енергії, в дію підключаються системи накопичення електроенергії, що призводить до зменшення дефіциту енергії. А в період найменшої активності споживачів, дані системи необхідно наповнювати енергією, тобто найкраще це робити в нічний період, коли енергій коштує в два рази дешевше, а також попит на неї найменший.

Підводячи висновок, можна сказати що, застосування накопичувачів енергії, може стати досить актуальною та перспективною системою, для стабілізації загальної мережі, при впровадженні альтернативної енергетики і не тільки.

Література:

1. Хайтек [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://hightech.fm/2017/04/18/german-renewables-record-march>, вільний. Мова російська
2. М. А. Соколов, В. С. Томасов «Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков».

Аналіз стану споживання електричної енергії на залізничному транспорті

Федоренко О.О., Друбецька Т.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день система контролю і аналізу електроспоживання на залізничному транспорті ґрунтується на його нормуванні в розрахунку на одиницю тонно-кілометрової роботи. Для визначення доцільності застосування зазначеного підходу виконано аналіз залежності витрати електроенергії на тягу поїздів і на нетягові потреби від обсягу тонно-кілометрової роботи з використанням методів кореляційного аналізу.

Була досліджена динаміка зміни витрат електроенергії на тягу поїздів і нетягові потреби, а також обсягу виконаної тонно-кілометрової роботи за два роки по мережі залізниць.

Розраховано коефіцієнти кореляції, що характеризують залежність витрати електроенергії від обсягу тонно-кілометрової роботи по мережі залізниць, значення яких для електроспоживання на тягу поїздів склало 0,59, а для електроспоживання на нетягові потреби - (- 0,37). За підсумками перевірки значущості отриманих коефіцієнтів можна зробити висновок про те, що витрата електроенергії на тягу поїздів в значній мірі залежить від обсягу тонно-кілометрової роботи, а для витрат на нетягові потреби зазначена залежність не є значущою.

В результаті досліджень отримано, що якщо витрата електроенергії на тягу поїздів в значній мірі залежить від тонно-кілометрової роботи з коефіцієнтом кореляції, що знаходяться в межах від 0,55 до 0,84 для різних залізниць, то зазначена залежність для електроспоживання на нетягові потреби не є статистично значущою: для окремих залізниць коефіцієнт кореляції приймає негативні значення і знаходиться в межах від -0,43 до 0,13.

Аналіз, виконаний для найбільш енергоємних господарств залізниць, також свідчить про низький ступінь впливу тонно-кілометрової роботи на електроспоживання на нетягові потреби; при цьому коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,01 для колійного господарства до 0,40 для локомотивного господарства.

В межах окремих структурних підрозділів також спостерігається відсутність значимої залежності між витратою електроенергії на нетягові потреби і обсягом тонно-кілометрової роботи. При цьому коефіцієнт кореляції в усіх випадках не перевищує 0,14.

На підставі результатів отриманих досліджень можна зробити висновок про те, що використання питомої витрати електроенергії на одиницю тонно-кілометрової роботи в якості основного показника системи контролю електроспоживання на нетягові потреби не представляється доцільним з огляду на низький ступінь кореляції між зазначеними величинами.

Напрямки поліпшення якості та ефективності перетворення електричної енергії тяговими підстанціями постійного та змінного струму

Хоменко В.Р., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Відображаючи загальноекономічні тенденції, падіння обсягів вантажних перевезень демонструють практично всі види транспорту, за винятком автомобільного. У загальній структурі перевезень вантажів залізничний транспорт становить найбільшу частку, що суттєво впливає на динаміку перевезень вантажів в цілому по Україні.

Будь-яка існуюча система електропостачання залізниці, що представляє собою тягову підстанцію контактну мережу та рейкову колію, є частиною енергосистеми держави.

На сьогоднішній день електрична тяга має широке впровадження в міському транспорті та на залізниці, так як пройшла значний шлях у своєму розвитку. Вона вважається найбільш прогресивною, економічно вигідною та, зважаючи на екологічний аспект, найбільш чистим видом тяги.

Але більшість існуючих систем тягового електропостачання не завжди можуть задовольнити потребу передачі необхідної потужності при загальній тенденції збільшення вантажоперевезень і швидкості руху поїздів.

Однією з основних проблем є поліпшення якості та ефективності перетворення тяговими підстанціями постійного та змінного струму електричної енергії на електрифікованих залізницях.

Перспективним напрямком вирішення вказаних проблем є удосконалення системи електропостачання постійного та змінного струму та знаходження способів підвищення ефективності передачі електричної енергії до рухомого складу від тягових підстанцій, що оцінюється показниками якості електричної енергії, регламентованих нормативними документами. Для удосконалення автоматичного регулювання напруги в контактній мережі існує спосіб, який полягає в тому, що вимірюють напругу на постах секціонування суміжних з тяговою підстанцією, порівнюють виміряні значення зі встановленими уставками напруги та формують керуючий вплив на блок регулювання напруги на шинах тягової підстанції в залежності від співвідношення між собою напруги постів секціонування та необхідності мінімізації додаткових втрат потужності від виникнення вирівнювальних струмів між іншими тяговими підстанціями.

В якості стаціонарної системи контролю режимів напруги та відповідно втрат потужності в контактній мережі доцільно впровадити систему контролю напруги уздовж міжпідстанційної зони, яку можна побудувати на основі розробленого приладу вимірювання напруги з бездротовою передачею даних розроблений Босим Д. О. (пат. № UA 95871).

Можна вдосконалити систему управління пристроями плавної компенсації реактивної потужності в системі електричної тяги змінного струму. Вона дозволяє отримати оптимальні струми компенсації, які в свою чергу забезпечують необхідний режим напруги на шинах підстанції, відсутність перетікань реактивної електроенергії та мінімально можливий рівень несиметрії напруги за зворотною послідовністю.

Також, можна досягти удосконалення системи стабілізації напруги в тяговій мережі постійного струму, яка на підставі дійсного розподілу напруги всередині міжпідстанційної зони дозволяє визначити необхідну генеровану потужність, яка забезпечить стабільний рівень напруги кожному поїзду під час руху вздовж зони, що знаходиться між підстанціями.

Методологія удосконалення режиму напруги в тяговій мережі при підвищенні швидкості руху

Чернишенко О.О., Ляшук В.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Полігон транспортних шляхів, електрифікованих на постійному струмі в Україні, сьогодні становить близько 4760 км. Одним з основних факторів, істотно погіршують якість роботи електротранспорту, є коливання напруги в контактних мережах в широких межах. Це цілий комплекс питань, які потребують перегляду з точки зору сучасних підходів до електропостачання та енергозбереження.

У першу чергу, істотні коливання напруги пояснюються дуже великим споживанням рухомим складом тягового струму.

Живлення електричних ланцюгів електрифікованого транспорту здійснюється від повітряної контактної мережі постійного струму напругою $3,3 \text{ кВ} \pm 0,5 \text{ кВ}$. Номінальна напруга на виході тягової підстанції становить 3,3 кВ, максимальне – 3,8 кВ.

Така підвищена напруга негативно позначається на дорогому комутаційному і перетворювальному електроустаткуванню рухомого складу і часто призводить до виходу його з ладу. З іншого боку, зниження напруги контактної мережі призводить до перегріву обмоток тягових двигунів.

В даний час зменшення втрат електроенергії в тяговій мережі електрифікованих залізниць шляхом стабілізації напруги в контактній мережі є однією з важливих проблем, які на сьогодні успішно вирішуються в тягових мережах міського електротранспорту при незначних струмах навантаження. Тому створення перетворювачів (стабілізаторів) напруги з великими струмовими навантаженнями є суттєвою проблемою.

Розглядається питання використання методу стабілізації напруги постійного струму з використанням ланки високої частоти в тягових підстанціях електричного транспорту, наводиться опис і принцип роботи стабілізатора напруги.

Ясно, що стабілізація напруги мережі живлення залізничного транспорту дозволяє значною мірою підвищити якість їх роботи, безпеку, надійність та знизити витрату електроенергії.

У зв'язку зі значним прогресом у виробництві силових напівпровідникових елементів і модулів, стало можливим проектування і виробництво потужних перетворювачів, здатних управляти електричними машинами на кілька мегават.

Аналізуючи різні методи стабілізації напруги в тяговій мережі, їх недоліки і переваги, для зменшення втрат електроенергії та спрощення пристроїв стабілізації напруги в тяговій мережі постійного струму пропонується система електропостачання, коли на підстанції встановлюються чотири тягових агрегати, обмеженої потужності, замість стандартної компоновки проміжної тягової підстанції з двох агрегатів.

Розглядається питання використання методу стабілізації напруги постійного струму з використанням ланки високої частоти в тягових підстанціях електричного транспорту ділянці Святогірск-Никітівка, наводиться опис і принцип роботи стабілізатора напруги.

Тягові перетворювачі на базі транзисторів IGBT вигідно відрізняються двома особливостями, важливими як для залізниць, так і для виробників. Перш за все, ці пристрої створюють потенційні можливості для зниження витрат, головним чином завдяки здешевленню збірки і підвищенню ефективності тягових систем. Друга особливість, яка сприяла швидкому впровадженню перетворювальної техніки на базі транзисторів IGBT, полягає в підвищеній надійності та експлуатаційної готовності тягових систем. Уже на початковому етапі впровадження перетворювачів, виконаних на замикаються тиристорах (GTO), було очевидно, що гранично досяжний рівень надійності обмежується складністю таких при-

строїв. Особливо сильний вплив на надійність системи надавали схеми ланцюгів управління тиристорами GTO.

Таким чином, при оптимальному алгоритмі управління рівнем напруги можливо організувати процес перевезення вантажів і пасажирів з мінімальними втратами електроенергії. Питання про те, що модернізація електропостачання на тягу є актуальною.

Система контролю достовірності обліку електричної енергії в мережах районів електропостачання

Чичиль О.О., Друбєцька Т.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Похибка складової технологічних втрат визначається похибкою вимірювальних систем обліку, можливими несправностями їх елементів. При відсутності автоматизованої системи обліку електричної енергії визначальною похибкою є неодноразовість зняття показань приладів обліку. На практиці такого роду неодноразовість зняття показань досягає 7...10 діб. До того ж порушується порядок черговості зняття показань лічильників у споживачів електричної енергії. Все це призводить до значного розходження різниці розподіленої і спожитої електричної енергії (фактичних втрат) з розрахунковими технологічними втратами. Цю різницю прийнято характеризувати комерційною складовою втрат.

Ситуація, що склалася різко знижує інформативну значимість величини фактичних втрат. Важко, а іноді неможливо, встановити споживачів з несправними системами обліку, виявити ділянки розподільних мереж з підвищеними технологічними втратами, визначити небаланси електроенергії, місця розкрадань електричної енергії.

Тому розроблена системи контролю достовірності обліку електричної енергії в мережах районів електропостачання, що дозволяє при існуючих вимірювальних системах обліку та існуючій організації збору вихідної інформації практично безвитратно підвищити інформативність складової різниці розподіленої і спожитої енергії, тобто значення суми технологічних і комерційних втрат, і при наявності автоматизованих систем обліку відмовитися від періодичної перевірки вимірювальних приладів обліку і вимірювальних трансформаторів струму і напруги, перейшовши до системи перевірки та ремонту за технічним станом систем обліку електричної енергії. Кодування підлягають джерела живлення, пункти прийому електричної енергії, контрольованої зони мереж районів електропостачання, знижувальні трансформаторні підстанції. Для проведення класифікації виділено 11 видів джерел живлення, шість видів пунктів прийому, три види контрольованих зон, 15 видів трансформаторних підстанцій. Класифікатор стану обліку електричної енергії відображає наявність або відсутність приладів обліку активної і реактивної енергії, а також тип приладів обліку – індукційні або електронні.

Запропоновано методику оцінки достовірності обліку електричної енергії в пунктах прийому, контрольованих зонах і на трансформаторних підстанціях, що дозволяє на підставі інформації про клас точності лічильників електричної енергії, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, визначати величину допустимого небалансу прийому і розподілу електричної енергії.

Розроблено систему балансового контролю достовірності обліку електричної енергії в мережах районів електропостачання, що дозволяє відмовитися від періодичної перевірки всіх лічильників і перейти до системи перевірки і ремонту вимірювальних комплексів з технічного стану системи обліку. Впровадження системи контролю здійснюється на трьох рівнях:

- в пунктах прийому електричної енергії в мережі залізниці;
- в контрольованих зонах розподільних мереж;

- на трансформаторних підстанціях.

Діагностика задовільного стану системи обліку здійснюється шляхом порівняння величини фактичного небалансу прийому і розподілу електричної енергії на кожному рівні контролю з допустимим значенням.

Пристрої і технології обмеження струмів короткого замикання в електричній мережі

Шмиголь Д. О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Розвиток електроенергетичних систем (ЕЕС) тісно пов'язаний із загальним економічним розвитком і характеризується стійким зростанням електричних навантажень, в наслідок чого неминучим є зростання струмів короткого замикання. В свою чергу збільшення струмів короткого замикання (КЗ), які супроводжуються збільшенням електродинамічних і теплових впливів на обладнання, призводить до зростання пошкоджень обмоток генераторів, синхронних компенсаторів, трансформаторів, реакторів та інших електричних апаратів. Наднормові струми КЗ можуть пошкоджувати вимикачі, що призводить до збільшення масштабів наслідків КЗ, в тому числі за рахунок виникнення пожеж на енергетичних об'єктах. Зазначені обставини знижують надійність роботи електроенергетичних систем.

Поява нових технологій і матеріалів, пов'язаних з перетворювальною технікою і явищем надпровідності дають можливість створення струмообмежуючих пристроїв нового покоління, що володіють властивостями, які відкривають можливість широкого застосування цих пристроїв в електроенергетиці. Струмообмежуючі (СОП) пристрої повинні:

- забезпечувати обмеження значень ударного і усталеного струмів КЗ до допустимого рівня;
- не чинити істотного впливу на нормальний режим роботи мережі;
- не вносити істотних нелінійних спотворень в параметри режиму;
- мати автоматичне спрацювання та відновлення після усунення струму КЗ;
- мати стабільні характеристики при зміні схеми мережі;
- не чинити негативного впливу на функціонування інших елементів мережі і систем захисту.

Одночасно з реалізацією функції струмообмеження, нові пристрої можуть забезпечити швидкодіюче відключення струму. При застосуванні СОП може бути вирішена і проблема струмообмеження при одночасному дотриманні вимог по самозапуску двигунів в ланцюгах власних потреб електростанцій і підстанцій, на промислових підприємствах зі складними безперервними технологічними процесами.

Ефективність застосування СОП в електричних мережах визначається наступними факторами:

- збереженням існуючого на станціях комутаційного обладнання при підключення додаткових потужностей;
- підвищенням якості електроенергії за рахунок зменшення еквівалентного індуктивного опору мережі;
- підвищенням надійності роботи електрообладнання за рахунок зниження електродинамічних і теплових впливів при обмеженнях ударних і сталих струмів КЗ;
- спрощенням схем електропостачання за рахунок можливості організації розподілу електроенергії з шин генераторної напруги;
- підвищенням надійності експлуатації і зниженням вартості надпровідних кабельних ліній.

Перспективним напрямком розробок СОП є напрямок, пов'язаний зі створенням комбінованих СОП пристроїв на основі застосування надпровідникових елементів і традиційних, в першу чергу, швидкодіючих вакуумних комутаційних апаратів і реакторів.

Слід зауважити, що будь-яких активних робіт в області розробок СОП на основі силових електроніки (напівпровідникових СОП) в Україні, на жаль, не проводиться, можливо в майбутньому це стане дуже вигідним рішенням в обмеженні струмів короткого замикання.

Нейромережеві моделі, як засіб прогнозування зношування сильнотривового контакту

Антонов А. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Штучні нейронні мережі представляють собою технологію, яка пов'язана з математикою, фізикою, комп'ютерними науками та технікою. Вони знаходять застосування в моделюванні, аналізі часових рядів, розпізнаванні образів, обробленні сигналів та керуванні технічними системами, за рахунок одної важливої властивості – спроможності навчатися на основі даних при участі вчителя чи без його втручання.

Історія нейромережевих алгоритмів черпає свій початок з моменту висунування ідеї про те, що нейрон є структурною одиницею мозку людини, яку висунув Рамон-Кайал. Надалі Розенблатт сформулював модель нейрону та обумовив можливість його навчання.

Появі сучасного інтересу до розв'язання прикладних задач за допомогою нейромережевих концепцій сприяла розробка Румелхартом, Хінтоном та Вільямсом нового алгоритму навчання багатошарових нейронних мереж, який отримав назву алгоритму зворотнього поширення.

Застосування нейронних мереж є одним з перспективних напрямків зменшення матеріальних витрат та витрат часу на проведення експериментальних досліджень. Вони можуть використовувати набори отриманих при стендових випробуваннях характеристик для прогнозування цільових значень.

Найбільш важливою перевагою нейронних мереж є здатність до самонавчання, ця властивість дозволяє нейронним мережам вирішувати складні та масштабні завдання. Але самі по собі нейронні мережі не можуть забезпечити готове рішення, їх необхідно інтегрувати в складні системи.

Нейронні мережі володіють рядом суттєвих переваг перед класичними методами:

- Використовуючи здатність навчання на безлічі прикладів, нейронна мережа здатна вирішувати завдання, в яких невідомі закономірності розвитку ситуації і залежності між вхідними та вихідними даними. Традиційні математичні методи та експертні системи в таких випадках пасують.

- Можливість роботи при наявності великого числа неінформативних, шумових вхідних сигналів. Немає необхідності робити їх попередній відсів, нейронна мережа сама визначить їх малоприслатними для вирішення завдання і відкине їх.

- Нейронні мережі володіють надвисокою швидкістю обробки інформації за рахунок використання паралелізму обробки інформації.

- Висока відмовостійкість, яка не знижується при несприятливих умовах, наприклад якщо пошкоджений якийсь нейрон.

Існуючі системи дослідження динамічної взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачами розглядають їх як багаторівневу коливальну систему з безліччю ступенів свободи, без урахування процесу струмознімання, а також електричних і механічних характеристик взаємодіючих елементів потужностривового контакту «контактний провід – струмознімальний елемент». Існують спроби створення систем, які моделюють процес зношування пари тертя в потужностривові ковзному контакті, але вони не враховують цілий ряд впливаючих факторів і не дозволяють з високою точністю прогнозувати знос пар тертя.

Відомо, що на процес зношування пар тертя струмознімання потужностривового контакту впливає цілий ряд параметрів: типи контактних підвісок і струмоприймачів, матеріали з яких виготовлені елементи пари тертя, вплив параметрів навколишнього середовища, величина струму, що знімається, кількість пар поїздів. На підставі перерахованих

факторів, пропонується обґрунтувати новий підхід для визначення якості струмознімання через показник зношування пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент» розробивши прогнозу нейромережеву модель, яка представляє собою сучасний, гнучкий і ефективний інструмент, призначений для інтелектуального аналізу залежностей в складних системах.

Визначення потужності швидкісного електрорухомого складу для залізниць України

Арпуль С. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Україна має високорозвинену мережу залізниць. Велика провізна спроможність залізниць, стабільність їх роботи та порівняна дешевизна перевезень сприяли тому, що залізничний транспорт був і залишається у країні основним перевізником.

Однак сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок.

Незважаючи на вжиті за останні роки заходи з оновлення верхньої будови колії, земляного полотна та рухомого складу, максимально дозволена швидкість руху поїздів на залізницях залишається невисокою.

Радикальним заходом, який дасть залізницям змогу зберегти передові позиції у сфері пасажирських перевезень, є створення мережі швидкісних магістралей, що забезпечить значне зростання обсягів залізничних перевезень, у тому числі за рахунок залучення пасажирів з інших видів транспорту. Це підтверджує і досвід Західної Європи, де завдяки підвищенню швидкості руху поїздів залізниці мають перевагу перед авто- та авіатранспортом на відстанях 250...500 км і на рівних конкурують з авіацією на відстанях 500...1000 км.

З метою впровадження швидкісного руху необхідно розв'язати проблеми, які раніше не стояли перед залізничним транспортом. Це, зокрема, кардинальне підвищення технічного рівня інфраструктури залізниць, організація виробництва швидкісного рухомого складу та іншої залізничної техніки, створення нових комп'ютерних систем, засобів передачі енергії, інформації і т.і.

В даній роботі вирішується проблема визначення раціональної, з точки зору енергоефективності, потужності швидкісного електрорухомого складу для залізниць України.

Ряд важливих експлуатаційних характеристик залізниці залежить від номінальної швидкості та сили тяги електрорухомого складу. Саме вони визначають значення припустимої составності поїзда, максимального прискорення, що реалізується у період розгону та реалізації конструкційної швидкості руху поїзда. Тому вирішення задачі визначення оптимальної потужності зводиться до пошуку раціональної комбінації зазначених вище параметрів і повинно базуватися на дослідженні їх взаємозв'язку з основними параметрами процесу перевезень.

В якості показника раціональності вибраних параметрів швидкісного електрорухомого складу доцільно використовувати витрати електроенергії на тягу поїздів при заданій тривалості поїздки. Визначення цього показника базується на результатах тягових розрахунків, тому вирішення поставлених завдань вимагає розробки методик визначення параметрів рівняння руху та витрат електроенергії на тягу поїздів.

Використання енергоефективного електрорухомого складу забезпечить високі показники експлуатаційної роботи залізниць, сприятиме залученню залізницями додаткових обсягів міжміських та міжнародних перевезень, підвищенню мобільності населення у результаті позитивних змін в економіці та соціальній сфері, розширенню міжнародного співробітництва.

Импульсное регулирование напряжения и степени ослабления поля тяговых двигателей электроподвижного состава

Афанасов А.М., Мясников А.С., Бородулин К.Т., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Актуальность разработки и исследования систем импульсного регулирования напряжения и степени ослабления магнитного поля тяговых двигателей определяется мировой тенденцией к реализации систем плавного бесконтактного регулирования силы тяги электровозов и электропоездов. За счет плавного регулирования напряжения и ослабления поля могут быть существенно улучшены тяговые и энергетические характеристики электроподвижного состава, повышена надёжность его тягового электрооборудования. Для такого регулирования могут быть использованы достаточно простые широтно-импульсные регуляторы низкого напряжения. В настоящее время имеется достаточно большой опыт применения таких преобразователей на электропоездах и электровозах постоянного тока, тем не менее, остается актуальной задача оптимального управления тяговым моментом путем одновременного регулирования напряжения на тяговом двигателе и степени ослабления его поля. Такое управление может быть реализовано путем использования современных микропроцессорных систем управления тяговым электроприводом.

Для тяговых электроприводов постоянного и пульсирующего тока с плавным регулированием напряжения характерно двузонное регулирование. Пуск двигателя осуществляется сначала путём повышения напряжения при полном возбуждении (зона 1), а затем – ослаблением возбуждения при номинальном напряжении на тяговом двигателе (зона 2).

Основным направлением теоретических и экспериментальных исследований перспективных систем тягового электропривода постоянного и пульсирующего тока с плавным регулированием напряжения и степени ослабления поля является создание методик расчета регулировочных характеристик, выбора оптимального алгоритма регулирования, в том числе, и оптимальной рабочей частоты импульсного преобразователя для ослабления поля.

Плавное регулирование ослабления поля в сочетании с системой автоматического управления тяговым электроприводом:

- обеспечивает стабилизацию пускового тока тягового двигателя, в том числе, и при ступенчатом регулировании напряжения;
- позволяет формировать тяговую характеристику постоянной мощности;
- обеспечивает повышение коэффициента использования мощности тяговых двигателей;
- оказывает демпфирующее действие при переходных процессах, вызываемых изменениями напряжения в контактной сети;
- обеспечивает выравнивание токов нагрузки тяговых двигателей в параллельных ветвях силовой схемы;
- позволяет точно устанавливать и поддерживать заданное значение коэффициента ослабления возбуждения, что важно в зоне его предельно допустимых (минимальных) значений при стабилизации силы тяги или скорости;
- позволяет отказаться от индуктивных шунтов;
- может быть использовано для повышения эффективности систем противобоксочной защиты электровозов и электропоездов.

Все факторы, перечисленные выше, обеспечивают повышение энергетической эффективности тягового электропривода, способствуют снижению общих затрат электроэнергии на тягу поездов, и себестоимости железнодорожных перевозок.

Повышение энергетической эффективности приемо-сдаточных испытаний электрических машин тягового и моторвагонного подвижного состава

Афанасов А.М., Шаповалов А.С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Снижение расхода электроэнергии на проведение приёмо-сдаточных послеремонтных испытаний тяговых двигателей и вспомогательных электромашин является одной из актуальных проблем на предприятиях по ремонту тягового подвижного состава магистрального и промышленного транспорта. Испытания на нагрев тяговых электромашин на стенде взаимной нагрузки являются наиболее энергоёмкой частью всей программы испытаний. Энергетические затраты на проведение данного вида испытаний могут быть снижены как за счёт повышения энергетической эффективности системы взаимной нагрузки, так и путём оптимизации режима нагружения тяговых электромашин.

Существенная сложность синтеза систем нагружения для испытания вспомогательных электромашин обусловлена как большим разбросом значений их номинальных параметров (мощность, напряжение), так и различием рода питающего тока (постоянный, переменный). До настоящего времени не решена задача создания универсальной системы нагружения тяговых электромашин, способной обеспечить режимы приемо-сдаточных испытаний всего типового ряда вспомогательных электромашин.

Полный ряд альтернатив схемных решений системы взаимного нагружения электромашин постоянного и пульсирующего тока последовательного возбуждения, а также асинхронных электромашин включает достаточно большое множество вариантов. Задача выбора рациональных вариантов схемы взаимного нагружения тяговых электродвигателей и вспомогательных электромашин тягового и моторвагонного подвижного состава может быть разбита на следующие независимые подзадачи:

- определение рационального количества источников мощности;
- выбор рационального типа источника мощности;
- выбор рационального типа преобразователя мощности;
- выбор рационального способа регулирования возбуждения электромашин.

Каждая из данных подзадач является многокритериальной, но может быть рассмотрена отдельно. В качестве критериев выбора рационального варианта в каждой из подзадач необходимо рассматривать:

- минимум приведенной суммарной мощности источников и преобразователей;
- максимум энергетической эффективности системы взаимного нагружения;
- минимум расхождения тепловых нагрузок обмоток якорей и обмоток возбуждения испытуемых электромашин;
- возможность выполнения всех пунктов программы приёмо-сдаточных испытаний тяговых электромашин, предусмотренных нормативной документацией.

Суммарная мощность источников питания системы взаимного нагружения определяет себестоимость всего испытательного стенда. Энергетическая эффективность системы определяет общий расход электроэнергии, а расхождение тепловых нагрузок обмоток - качество приёмо-сдаточных испытаний. Возможность выполнения всех пунктов программы приёмо-сдаточных испытаний тяговых электромашин на стенде взаимной нагрузки является обязательным, так как диктуется требованиями правил ремонта электрических машин.

Использование системы взаимного нагружения электромашин рациональной структуры позволит существенно уменьшить как себестоимость испытательной станции, так и суммарные расходы электроэнергии на проведение послеремонтных испытаний тяговых двигателей и вспомогательных электромашин.

Перевод электропоезда ЕПЛ2Т на импульсное регулирование

Белухин Д. С., Петров А. Д., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На железных дорогах Украины уже длительное время эксплуатируются электропоезда постоянного тока серии ЕПЛ2Т. Электропоезда изготовлены в период с 2001 по 2008 годы холдинговой компанией “Лугансктепловоз” в количестве 35 экземпляров для железных дорог Украины (Донецкой, Приднепровской, Львовской). Силовая схема электропоезда близка к схеме ЭР2Т. Существенным отличием от электропоездов серий ЭР1, ЭР2 является наличие рекуперативно-реостатного торможения. Моторные вагоны оборудованы двигателями постоянного тока типа 1ДТ-003.8У с часовой мощностью 240 кВт и номинальным напряжением 750 В. При пуске применены надежные и проверенные временем принципы, основанные на автоматическом пуске электропоезда путем выведения реостатных ступеней. В настоящее время, использование реостатного регулирования вызывает несколько повышенные расходы электроэнергии, с чем приходится считаться.

Общеизвестно, что пуск тяговых двигателей электропоездов без реостатов посредством импульсного регулирования и рекуперативное торможение дает экономию электрической энергии на участках с расстоянием между остановками 3,5...4,5 км достигает 10-12 % за счет исключения потерь в реостатах и 12-18 % – за счет снижения потерь на торможении.

В настоящее время новый электроподвижной состав постоянного тока создается на основе асинхронных тяговых двигателей с прямым преобразованием напряжения автономным инвертором напряжения от контактной сети постоянного тока. Поэтому применение импульсного регулирования напряжения электроподвижного состава постоянного тока на данном этапе может быть интересным в целях модернизации. Т. к. электропоезд ЕПЛ2Т будет находиться в эксплуатации еще не менее 20 лет, то возможно рассматривать варианты перевода его на импульсное регулирование.

Имеется достаточно большой опыт применения поездов с импульсным регулированием. В СССР находились в опытной эксплуатации ЭР2И, ЭР12, ЭР200. Определенный интерес представляют электропоезда типов 200 и 201 японских железных дорог, которые в малом количестве еще находятся в эксплуатации. Причем характерной общностью поездов серий 200 и 201 с поездом ЕПЛ2Т есть то, что якоря четырех двигателей моторного вагона соединены последовательно. Определенный интерес представляют схемы вагона электропоезда пригородной железной дороги Сан-Франциско. В Германии в пригородном движении работали электропоезда серии BR270. Примеров мировой практики применения электропоездов с импульсным регулированием достаточно много. Однако все эти примеры имеют характерные черты: использование преобразователей на основе соловых тиристоров, которые соединяются в многофазные схемы (как минимум 2).

Успешное развитие силовой полупроводниковой элементной базы позволяет вдохнуть новую жизнь в идею импульсного регулирования напряжения. Частным случаем может стать модернизация силовой схемы электропоезда ЕПЛ2Т. Анализ показал, что схема поезда благодаря имеющимся соединениям пригодна для перевода к такому регулированию по аналогии со схемой поездов серии 200 и 201 японских железных дорог, где регулятор установлен после двигателей. При этом сохраняется рекуперативное и реостатное

торможение. За счет более высокой рабочей частоты современной элементной базы возможен отказ от многофазного преобразователя и снижение габаритов фильтрующей аппаратуры.

Модернизация вспомогательных электроприводов электровозов переменного тока

Белухин Д. С., Мартиняк А. О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сегодняшний день экономичное использование энергоресурсов является одним из приоритетных направлений в экономической политике Украины. В современных условиях интенсификации работы объектов железнодорожного транспорта, когда основной объем перевозок осуществляется на электрифицированных участках железных дорог, приводит к повышению энергопотребления. Учитывая высокие тарифы на электроэнергию, отраслевая политика Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины предполагает переход к энергосберегающим технологиям и эффективному снижению потерь электроэнергии.

Существенную часть парка железных дорог, электрифицированных на переменном токе, составляют электровозы, которые выпущены во второй половине 20-го века. Для привода вспомогательных механизмов и агрегатов этих электровозов используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Для получения трехфазного переменного напряжения из однофазного применены фазорасщепители.

Несмотря на простую и, казалось бы, весьма надежную систему вспомогательных машин опыт эксплуатации показывает достаточно низкую надежность системы питания вспомогательных электроприводов. Применение существующей системы питания асинхронных приводов вспомогательных машин не позволяет организовать их работу в экономичных режимах. Для грузового движения грузонапряженной дороги вспомогательные машины потребляют примерно 10% энергии, затрачиваемой на тягу поездов. В связи с этим, на современном этапе сложных рыночных взаимоотношений, энергетические показатели системы вспомогательных машин должны быть достаточно высоки и обеспечивать определенную экономию электроэнергии, которая, в свою очередь, затрачивается локомотивом на собственные нужды.

На современном электроподвижном составе применяются асинхронные приводы вспомогательных механизмов, которые получают питание от преобразователей частоты и напряжения. Определенный интерес представляет возможность применения такого типа преобразователей на электровозах серии ВЛ80(К, С, Т), которые в Украине имеются в достаточном количестве.

Разработки в этой области ведутся давно, и наблюдаются три основные тенденции:

1) применение непосредственного преобразователя на основе тиристорov. Такие системы уже находятся в эксплуатации, позволяют реализовать 2 или 3 частоты вращения мотор-вентиляторов, но не исключают ряда недостатков электромеханических преобразователей; 2) преобразователи, выполненные по аналогии с современными электровозами, т.е. к обмотке собственных нужд подключен неуправляемый выпрямитель с широтно-импульсным регулированием, который, в свою очередь, обеспечивает питание автономного инвертора напряжения (АИН) асинхронных приводов; 3) к обмотке собственных нужд подключается управляемый выпрямитель для питания АИН.

Третий вариант может вполне быть осуществимым. Предлагаемая схема системы питания асинхронных приводов вспомогательных механизмов электровозов ВЛ80(К, С, Т) с применением автономного инвертора напряжения и управляемого выпрямителя позволяет исключить следующие проблемы: потребление электроэнергии при отключенных

приводах, питание симметричной системой трехфазных напряжений, плавное регулирование частоты вращения вентиляторов при дополнении схем необходимыми датчиками. Диапазон работы системы ограничен в случае снижения напряжения контактной сети ниже 21,2 кВ. Но, т. к. асинхронные двигатели для указанных электропоездов выбраны с существенным запасом по мощности это приемлемо.

Підходи до вибору технологічних складових системи прискореної доставки вантажів

Бех П.В., Лашков О.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Швидкість проходження поїздів по ділянках є важливим фактором вдосконалення організації руху, а загальний час при цьому, становить базис (основу) терміну доставки вантажів.

У наявних автоматизованих системах оперативного управління поїзною роботою, при моделюванні перевізного процесу та нормуванні витрат часу на виконання технологічних операцій, як правило, використовуються усереднені норми.

Такі ж усереднені норми швидкості закладають і при складанні графіків руху поїздів. Аналіз цих швидкостей показує, що на окремих ділянках швидкість фактична нижче встановленої.

Якщо реалізація подібних резервів часу вельми умовна, а на ринок транспортних послуг необхідно запропонувати варіант скороченого часу доставки вантажу на певному напрямку і при безумовному попиті на цю послугу, залізниця може цілеспрямовано тимчасово змінити технологію просування вантажу, використавши найбільш важливі, що впливають на об'єкт управління, фактори. Перелік таких факторів встановлюється завчасно для кожної окремо взятої фази W_i ($i = \overline{1, M}$) процесу доставки.

Крім цього, для кожного фактору строго регламентується час скорочення Δt_i перебування вантажу в кожній фазі W_i і відповідні цього часу витрати C_i (Δt_i), оскільки навіть при однаковій технології виконання того чи іншого чинника, що застосовується у відповідних фазах, вони можуть мати різну вартість.

Так для досліджуваного прикладу множина $\Delta AB = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ процесу доставки, через які проходить вантаж, представлено вісімнадцятьма фазами.

Кожна фаза являє собою частину технологічного ланцюга доставки вантажу і має свої часові параметри. Так, наприклад, вантажна станція Кайдацька Придн. має простий місцевий вагон T_m^B – встановлений і T_m^F – фактичний, а також T_n – період накопичення вагонів на передавальний поїзд. Для технічних станцій – це час простою вагонів транзитних з переробкою і без переробки або їх складові частини: час від прибуття на станцію до розпуску складу, від розпуску до накопичення, від накопичення до відправлення.

Для всіх елементів модельованого процесу, що включають дані технологічні процеси, заздалегідь була виконана і оброблена статистична інформація, отримані закони розподілу і встановлені їх параметри.

В ході аналізу вибірок встановлені їх основні статистичні характеристики і закони розподілу. Обсяг вибірки перевірений на величину абсолютної помилки δ з ймовірністю, де $\gamma = 1 - \alpha$, де α – рівень значущості, прийнятий рівним 0,05, за формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{U_{кр}^2 D(x)}{N_{выб}}}, \quad (1)$$

де $U_{кр}$ – критична точка, яку визначають за рівністю:

$$\Phi_{(U_{кр})} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{U_{кр}} e^{-\frac{U_{кр}^2}{2}} dU_{кр} = \frac{\gamma}{2} = \frac{1-\gamma}{2} \quad (2)$$

Для наявних вибірових даних при прийнятій 95% достовірності отримані вихідні дані з задовільною точністю для дослідження.

Енергоефективність перевізного процесу в освітніх програмах підготовки студентів за спеціальністю «Транспортні технології»

Вернигора Р. В., Огороков А. М., Березовий М. І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В сучасному світі однією з глобальних проблем людства є зменшення запасів традиційних енергетичних ресурсів (нафти, газу, вугілля тощо). В зв'язку з цим провідні країни світу протягом останніх десятиліть здійснюють цілеспрямовану політику на розвиток та впровадження енергоефективних та ресурсозберігаючих технологій у всіх сферах економічної діяльності. Наразі активно розробляються енергогенеруючі установки та транспортні засоби на альтернативних енергоносіях, при проектуванні нової техніки, рухомого складу, об'єктів інфраструктури особлива увага звертається на енерго- та ресурсозаощадження, диверсифікацію енергопостачання та впровадження відповідних технологій.

Для економіки України енергозбереження є сьогодні серед пріоритетних напрямків розвитку, оскільки наша країна є енергодефіцитною, задовольняючи власним виробництвом свої потреби в первинних енергоресурсах менше, ніж на 50%. Разом з тим застарілі технології промислового виробництва на українських підприємствах у більшості своїй є вкрай енергоємними, що з одного боку призводить до неефективного «розбазарювання» дорогоцінних енергоносіїв, з іншого – до зростання собівартості української продукції та, відповідно, до зменшення її конкурентоздатності як на зовнішніх, так і на внутрішньому ринках. На жаль, можна констатувати, що подібне марнотратство в нашій державі відбувається відносно практично будь-яких ресурсів – енергетичних, сировинних, матеріальних, фінансових, причому майже у всіх галузях господарської діяльності.

В цьому зв'язку до стратегічних пріоритетів економічної політики України належить завдання переведення національної економіки на енергозберігаючу модель розвитку. При цьому поряд з технічною модернізацією економіки за рахунок впровадження сучасних енергоефективних технологій не менш важливо формувати певний «енергоефективний» менталітет у суспільстві, насамперед, серед інженерно-технічних фахівців. Очевидно, що провідну роль у вирішенні цієї задачі мають відігравати вищі навчальні заклади. Саме тут повинні впроваджуватись сучасні освітні програми, що базуються на принципах енергоефективності та ресурсозбереження.

Транспортна галузь України є однією з найбільш енерго- та ресурсоємних, використовуючи близько третини загального споживання нафтопродуктів та до 5% загального споживання електроенергії. Серед видів транспорту особливе місце посідає залізничний, що у нашій країні залишається основним перевізником, здійснюючи близько 60% від усього вантажообігу транспортної системи держави. Щороку залізниці України споживають мільярди кіловат-годин електроенергії, сотні тисяч тон пального, десятки мільйонів кубометрів газу, десятки тисяч тон вугілля. На це витрачаються величезні кошти, які збільшують собівартість транспортної продукції, зменшують фінансові можливості залізниць як на підвищення соціальних стандартів в галузі, так і на інвестиції у оновлення основних фондів. В свою чергу, собівартість залізничних перевезень прямо впливає на собівартість продукції практично будь-якого підприємства та, відповідно, на її кінцеву вартість для споживачів. Безумовно, все вище сказане в повній мірі можна віднести і до автомобільно-

го транспорту, що є основним споживачем нафтопродуктів у транспортній галузі. Тому впровадження енергоефективних технологій організації перевізного процесу як на залізничному, так і на автомобільному транспорті є важливим напрямком енергетичної модернізації економіки України в цілому.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) має значний досвід як у розробці, так і у впровадженні освітніх програм, що орієнтовані на сучасні світові тенденції у енерго- та ресурсозбереженні, зокрема, на транспорті. Так, на факультеті «Управління процесами перевезень» при розробленні навчальних планів для студентів спеціальності «Транспортні технології» значна увага приділяється обов'язковому вивченню окремих модулів або ж цілих курсів, пов'язаних з розробкою та використанням енергоефективних технологій організації перевізного процесу. Наприклад, в одному з основних навчальних курсів «Управління експлуатаційною роботою» розглядаються сучасні підходи до організації експлуатаційної роботи станцій та залізничних дільниць, розробки графіків руху поїздів, що спрямовані на зменшення простоїв рухомого складу, скорочення обсягів маневрової роботи, підвищення швидкості доставки вантажів та економію енергоресурсів тощо. Проблеми енергозбереження та сучасні енергоефективні технології організації автомобільних перевезень розглядаються у відповідному курсі. У курсах «Станції та вузли» та «Транспортні вузли і системи міст» значна увага приділяється питанням раціонального проектування об'єктів, відповідно, залізничної та автомобільної інфраструктури (залізничних станцій, автовокзалів, транспортних розв'язок тощо), що дозволяють скоротити, як будівельні витрати на реалізацію проекту, так і витрати, пов'язані з експлуатацією запроектованих об'єктів. Проблеми ресурсозбереження та енергоефективності при проектуванні та експлуатації рухомого складу розглядаються у курсах «Транспортні засоби» та «Експлуатація рухомого складу». В таких дисциплінах, як «Вантажні перевезення», «Логістика», «Взаємодія видів транспорту» передбачено спеціальні модулі, присвячені енергоефективним технологіям та методам організації перевезень вантажів (наприклад, мультимодальним та бімодальним технологіям перевезень), широке використання яких дозволяє за рахунок економії ресурсів (енергетичних, матеріальних, часових, фінансових) суттєво знизити експлуатаційні витрати перевізників та підвищити їх прибутки.

Фізичну основу енергоефективних технологій студенти вивчають з курсу «Фізика» та «Електротехніки». Для математичного обґрунтування ефективності застосування тієї чи іншої технології перевезень в навчальних планах підготовки бакалаврів та магістрів передбачено цілий цикл дисциплін, спрямованих на вивчення сучасних методів дослідження транспортних систем та оптимізації технологічних процесів, пов'язаних з їх функціонуванням. Серед таких дисциплін «Дослідження операцій у транспортних системах», «Основи теорії систем і управління», «Основи теорії транспортних процесів та систем», «Методи наукових досліджень», «Методи оптимізації техніко-технологічних параметрів станцій», «Економіко-математичні моделі транспортних систем» тощо. Студенти вивчають широкий спектр прикладних математичних методів дослідження та оптимізації складних систем, в т.ч. лінійне, нелінійне та динамічне програмування, теорію ймовірностей та математичну статистику, регресійний та кореляційний аналіз, теорію масового обслуговування, сітьове планування та управління, теорію графів, імітаційне моделювання та ін.

Варто також зазначити, що у випускних магістерських роботах за спеціальністю «Транспортні технології» передбачаються розділи, пов'язані з розробкою та впровадженням енергоефективних та ресурсозберігаючих технологій у перевізний процес, а також відповідними розрахунками економічної доцільності вказаних інновацій. Окрім того, студенти факультету щорічно приймають участь у конкурсах студентських наукових робіт за спеціальністю «Транспортні технології»

В цілому такий підхід до організації навчального процесу дозволяє сформувати фахівця з транспортних технологій з широким та сучасним інженерним світоглядом, який здатний ефективно вирішувати практичні завдання на виробництві з врахуванням новітніх світових тенденцій щодо енергоефективності та ресурсозбереження та швидко адаптуватись до нових умов та технологій організації перевізного процесу.

Перспективи розвитку мультимодальних перевезень в Україні

Вернигора Р. В., Огороков А. М., Цупров П. С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В останні десятиліття у світі спостерігається стійка тенденція до глобалізації ринку товарів та послуг. Це призводить до необхідності використання ефективних технологій транспортування продукції від виробників до споживачів. Найбільш поширеною серед таких технологій є технологія мультимодальних перевезень. Мультимодальні вантажоперевезення – це внутрішньодержавні та міжнародні перевезення вантажу змішаним транспортом, коли перевезення вантажу до пункту призначення здійснюється двома або більше видами транспорту на підставі єдиного договору. Найчастіше до мультимодальних перевезень відносять перевезення вантажів в універсальних контейнерах.

Світовий ринок контейнерних перевезень стабільно зростає: якщо у 2006 р. загальний обсяг ринку становив 96,4 млн. TEU, то у 2016 р. (не зважаючи на певне зниження темпів зростання у 2008-2010 р.р. та 2014-2016 р.р.) виріс до 180 млн. TEU. Основна частина контейнерів транспортується морським транспортом; при цьому в останні роки суттєво виріс вантажопотік між країнами Азії (зокрема, Китай) та країнами Європи.

В цих умовах на ринку контейнерних перевезень важливе місце посідає Чорноморський регіон, що є зв'язуючою транзитною ланкою між Азією та Європою. У 2016 р. чорноморські контейнерні термінали України, Румунії, Росії, Болгарії та Грузії обробили майже 2,5 млн. TEU, зокрема завантажених контейнерів – 1,8 млн. TEU; зростання, у порівнянні з 2015 р., склало в цілому +7,2%, а по завантаженим контейнерам +9,6%. При цьому, найбільше зростання продемонструвала Україна – 533 тис. TEU, що на 30,6% більше ніж у 2015 р. Таким чином, у 2016 р. Україна стала лідером серед країн Чорноморського регіону за обсягами переробки контейнерів: частка українських терміналів становить 30% (740 тис. TEU), румунських та російських – по 25%, грузинських та болгарських – по 10%. Разом з тим, у 2008 р. (до світової кризи) загальна переробка контейнерів українськими терміналами досягала 1211 тис. TEU, а після падіння у 2009 р. до рівня 485 тис. TEU в 2013 р. обсяги зросли до 785 тис. TEU, після чого знову відбувся спад обсягів, пов'язаний з загальною кризою в економіці України 2014-2015 р.р.

Варто зазначити, що у 2016 р. в Україні зафіксовано зростання експортного потоку контейнерів майже на 30%. В цілому ж імпорт у регіоні складає 51,4%, експорт – 48,6%, співвідношення ж завантажених та порожніх контейнерів складає 72,6% до 27,4%. Серед контейнерних терміналів лідером залишається порт Констанца (Румунія) з часткою 21% загального контейнерообороту регіону, однак, у 2016 р. на другу позицію вийшов український термінал «Одеса», частка якого склала 12%.

Таким чином, Україна поступово відновлює обсяги переробки контейнерів у портах, відповідно збільшуючи обсяги їх перевезення територією держави: від та до портів. За прогнозами АМПУ, вантажообіг контейнерів через порти України до 2025 року може зрости до 756 тис. TEU. Перспективним для України напрямком збільшення мультимодальних перевезень є «новий шовковий шлях» з Китаю до Європи в обхід Російської Федерації через Казахстан, Азербайджан, Грузію та Україну. До переваг України, як учасника цього проекту, можна віднести високий потенціал країни-транзитера – як відомо,

коефіцієнт транзитності України становить 3,75 (при максимумі 5); це найкращий показник серед країн Європи (для порівняння, у Польщі, що посідає другу сходинку, цей показник становить 2,92). Разом з тим існує ціла низка негативних факторів, що перешкоджають тому, щоб наша держава повноцінно та ефективно використовувала свій транзитний потенціал. Узагальнюючим свідченням цього є низький індекс ефективності логістики, який для України у 2016 р. склав 2,74 (80 позиція); для порівняння, для сусідньої Польщі – 3,43 (33 позиція), а для Німеччини (лідер рейтингу) – 4,23. Так, наприклад, в Україні налічується 13 різних портових зборів, в той час як у більшості країн їх кількість не перевищує 8; загальна ж величина зборів в українських портах у 2,3 рази більше за середньосвітові.

Також в Україні вкрай недостатньо використовується потенціал мультимодальних перевезень: якщо світовий рівень контейнеризації ринку перевезень складає 16%, а у країнах Європи – до 40%, то в Україні – в контейнерах транспортується близько 4,5% вантажів. Безумовно, потужний негативний вплив як на розвиток економіки України в цілому, так і на розвиток системи мультимодальних перевезень, зокрема, здійснює ситуація на сході держави. Однак, серед основних причин такої ситуації – недоліки законодавчої бази у сфері транспортних послуг, зношеність інфраструктури та рухомого складу транспортної системи, надзвичайна зарегульованість та забюрократизованість ринку перевезень. Як наслідок – відсутність інвестицій у розвиток ринку мультимодальних перевезень і колосальні втрати економіки від недосконалої системи логістики.

Основним перевізником контейнерів в Україні є автомобільний транспорт, однак, його частка у загальному обсязі контейнерних перевезень поступово зменшується, а залізничного, натомість, зростає. Так, якщо, у 2013 р. близько 75% усіх контейнерів перевозились автомобілями, то у 2016 р. частка контейнерів, що перевозяться залізницею зросла до 37%, а по завезенню-вивезенню з портів – до 48%.

Українські залізниці мають значний досвід роботи з контейнерним вантажопотоком, як у складі окремих вагонних відправок, так і контейнерних поїздів. У 2016 р. загальний обсяг залізничних перевезень контейнерів склав 237 тис. TEU (максимум у 2012 р. склав 270 тис. TEU). В структурі залізничних контейнерних перевезень 35% складають внутрішні перевезення, 31% – імпорт, 18% – транзит, 17% – експорт.

Сьогодні перевезення великих обсягів контейнерів поїздами – загальносвітовий тренд. На частку такого способу транспортування в деяких європейських країнах припадає до 60%. На теперішній момент по території країни курсує 11 контейнерних поїздів, як місцевого, так і міжнародного сполучення, однак у повній мірі ця ефективна технологія в Україні поки що не використовується. Так, у 2016 р. контейнерними поїздами всього перевезено 73,7 тис. TEU, тобто 31% (у 2015 р. – 54,8 тис. TEU, максимум у 2012 р. склав 91,7 тис. TEU). Найбільшу кількість контейнерів – майже 30 тис. TEU – перевезено поїздом Нікополь – Чорноморськ – Нікополь. З вересня 2017 року, між контейнерним терміналом «ТІС» і Дніпровським річковим портом був запущений щотижневий контейнерний поїзд. Це спільний проект компанії «ТІС» з Укррічфлотом і Maersk Line. Ємність одного контейнерного складу становить 100 TEU. Дистанцію в 630 км поїзд долає за 19 годин, що в чотири рази швидше часу звичайних перевезень залізницею. Використання залізничного транспорту замість автомобільного на маршруті «ТІС» - Дніпро - «ТІС» дозволить вантажовласникам здешевити контейнерні перевезення на 30-50%.

Перевезення контейнерів річковим транспортом має значний потенціал, який активно використовується, зокрема, у країнах Європи; однак, в Україні з різних причин частка річкового транспорту у цьому сегменті складає менше 1%.

Зважаючи на європейський вибір України, її бажання інтегруватися в європейський транспортний та торгівельний простір, мультимодальні перевезення стають важливим сегментом розвитку. Європейська практика показує, що стимулювання, в першу чергу,

залізничних перевезень вантажів дає можливість досягнути більшої енергоефективності, екологічності та безпеки перевезень у порівнянні з автомобільним транспортом. Угода про асоціацію з Європейським союзом, яку підписала Україна 2014 року містить в собі окремий пункт щодо розвитку комбінованих та мультимодальних перевезень, врегулювання та узгодження нормативної бази цих перевезень з європейськими нормами.

Вплив електрокорозії на підземні спорудження та основні методи боротьби з нею

Власенко В. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Електрокорозія є одним з найнебезпечніших видів корозії. Електрокорозія породжується блукаючими струмами, джерелами таких струмів являються електрифіковані на постійному струмі залізниці, заземлення ліній постійного струму, системи катодного захисту та установки для нанесення гальванічного покриття. Від блукаючих струмів на металевих частинах виникає позитивний потенціал, який і руйнує метал. Електрокорозія є дуже поширеним явищем, вона значною мірою впливає на підземні трубопроводи, кабельні лінії, бетонні та залізобетонні спорудження. На залізниці, частина струмів повертається через відсмоктуючі лінії на тягову підстанцію, а так як рейки неізольовані від землі, струми розтікаються породжуючи електрокорозію.

Для захисту трубопроводу від електрокорозії, використовують дренажний захист, який забезпечується відведенням блукаючих струмів з споруди до джерела цих струмів. Дренаж здійснюється шляхом електричного з'єднання трубопроводу через дренажний пристрій з негативною шиною тягової підстанції або з рейками електрифікованого транспорту. Захист підземних споруд від електрокорозії полягає у виборі раціональної траси їх прокладки, застосуванні протикорозійних покриттів, секціонуванні, а також у використанні електричних способів захисту. Всі підземні споруди, що знаходяться поблизу електрифікованих ділянок, покривають бітумом, при перетині залізниць це покриття повинне бути посилене. Для захисту кабельних ліній використовують електричний дренаж та катодні установки, а також кабелі з голими свинцевими оболонками укладають в неметалевих трубах.

Таким чином, можна зробити підсумок, що визначальним критерієм екологічної безпеки є конструктивна надійність підземних споруджень, один з основних показників якості будь-якої конструкції є її здатності виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні властивості протягом необхідного проміжку часу.

Наприклад відмова магістрального газопроводу, що може виявитися у втраті герметичності стінки труби, трубних деталей або в загальній втраті міцності в результаті руйнування, призведе, як правило, до значного екологічного збитку з можливими неправними наслідками для навколишнього природного середовища. Тому всі вище описані методи захисту від електрокорозії, продовжують строк служби підземних споруджень та цим самим скорочують кількість можливих аварій.

До визначення еквівалентного ухилу залізничних колій кар'єрів

Г. К. Гетьман, В. Є. Васильєв, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Енергоємність відкритого способу видобутку корисних копалин у значній мірі (50-90%) визначається енерговитратами на транспортування гірської маси, що мають тенденцію до збільшення з ростом глибини розробки. Аналіз структури енергоспоживання на

кар'єрах показує, що найбільш енергоємним є процес транспортування гірської маси. Збільшення енергоємності при одночасному інтенсивному зростанні цін на енергоресурси стає одним з основних факторів, що лімітують розвиток гірського виробництва, і вимагає зниження витрати електроенергії кар'єрним транспортом, мінімізації питомих енерговитрат на підйом гірської маси при формуванні енергетично ефективних транспортних систем кар'єрів.

Для розв'язку питань, пов'язаних з визначенням тягового забезпечення під час перевезення гірської маси в кар'єрах, у тягових розрахунках регулярно користуються поняттям еквівалентного ухилу.

Для кар'єрного транспорту визначення еквівалентного ухилу пов'язано, як правило, зі значним обсягом обчислень, що пояснюється як існуванням декількох (часто більше десяти) маршрутів руху поїздів і відносно великим числом кривих ділянок колії, так і обумовленою специфікою проведення гірських робіт частою зміною плану і профілю трас маршрутів. Крім того, трудомісткість визначення еквівалентного ухилу для конкретного маршруту обумовлена необхідністю попереднього аналізу поздовжнього профілю з метою виділення шкідливих спусків.

Особливу важливість представляє те, що для оперативного планування необхідний такий метод тягового розрахунків, який, будучи простим, дозволить виконувати розрахунки енергоспоживання з необхідною в практиці інженерною точністю

У зв'язку з викладеним була розглянута можливість спрощення процедури визначення еквівалентних ухилів залізничних колій кар'єрів.

Щоб виявити можливість спрощення процедури визначення еквівалентного ухилу для ряду підприємств по відкритому видобуванню корисних копалин проаналізована залежність цієї величини від перепаду висот початкового і кінцевого пункту маршрутів, а також довжини останнього.

У результаті встановлено, що для реальних маршрутів, де значення величини середнього ухилу становить більше восьми тисячних, визначення величини еквівалентного ухилу можна виконувати по спрощеному вираженню, що цілком прийнятно для більшості практичних завдань, при цьому оцінка математичного очікування помилки становить 0,038 0,068.

Для ухилів, величина яких становить менше восьми тисячних, визначення еквівалентного ухилу пропонується виконувати з урахуванням наведених апроксимуючих залежностей.

Експериментальні випробування електровоза ВЛ11М, обладнаного системою захисту від боксування HQ.320100.000

Гетьман Г. К., Михед В. В., Бабяк М. О., Друбєцький А. Ю., Забаріло Д. О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Об'єкт випробування – електровоз ВЛ11М №120, секція А якого обладнана дослідною системою захисту від боксування (ЗБ) HQ.320100.000 виробництва High quality industries s.r.o., республіка Чехія.

Досліджувана система ЗБ розроблена для використання на електрорухомому складі з колекторними тяговими двигунами послідовного збудження. Принцип її дії базується на підвищенні динамічної жорсткості тягових характеристик за рахунок конденсаторних накопичувачів енергії, які включені паралельно з обмотками збудження.

Мета випробувань полягала в підтвердженні можливості реалізації декларованого виробником підвищення експлуатаційних показників електрорухомого складу за рахунок використання запропонованої системи ЗБ, а саме:

- зниження інтенсивності зношування бандажів;
- зниження витрат електроенергії на тягу поїздів;
- зниження витрат піску;
- збільшення сили тяги, що реалізується за умов зчеплення коліс з рейками.

В якості накопичувачів енергії на дослідному електровозі використані молекулярні накопичувачі енергії типу МНЭ-25/75. Загальна маса елементів системи складає 125 кг на одну секцію.

Випробування проводилися в березні 2017 року на ділянці Лавочне - Воловець Львівської залізниці. Виконано 25 дослідних поїздок з вантажними поїздами. В кожній поїзді оцінювались:

- витрати електроенергії на тягу секцій А і Б;
- струми якорів тягових двигунів № 1, 2, 3, 4;
- струми збудження тягових двигунів № 1, 2, 3, 4;
- швидкість руху електровоза;
- частоти обертання колісних пар № 1, 2, 3, 4;
- кількість спрацювань реле боксування всіх візків електровоза, а також час знаходження у включеному стані приладів подачі піску.

В результаті випробувань встановлено, що за рахунок зменшення кількості випадків та тривалості боксування використання пристрою захисту від боксування НQ.320100.000 забезпечує покращення тягових властивостей електровоза, а саме зменшення:

- витрат електроенергії на тягу (до 7 %);
- витрат піску (на 8 %);
- інтенсивності зношування гребнів бандажів колісних пар (на 7,3 %), а також підвищення ступеню використання сил зчеплення (збільшення коефіцієнта зчеплення обладнаної системою ЗБ секції на мокрих рейках досягало 10...20 %).

Таким чином, наведені вище дані досліджень вказують на об'єктивність переваг системи захисту від боксування, які декларує Виробник.

Разом з тим слід відзначити, що більш точна кількісна оцінка покращення тягових властивостей локомотивів за рахунок їх обладнання системою ЗБ НQ.320100.000 можлива за результатами більш повних досліджень.

Модернізація електрорухомого складу постійного струму

Забарило Д. О., Марікуца С. Л., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Галіузова А. М. (НметАУ)

Парк електрорухомого складу постійного струму залізниць України складають електровоз та моторвагонний рухомий склад з колекторними тяговими двигунами та ступінчастим реостатним регулюванням напруги.

Такий спосіб регулювання напруги на двигунах в теперішній час є малоефективним та не відповідає сучасному рівню вимог.

Сьогодні доступний широкий вибір силових керованих напівпровідникових приладів, що дозволяє з мінімальними затратами перейти до імпульсного регулювання напруги.

Системи імпульсного регулювання тяговими двигунами в порівнянні з релейно-контакторними забезпечують наступні переваги: суттєву економію електроенергії для ЕРС, що працює з частими зупинками, завдяки застосуванню рекуперативного гальмування до низьких швидкостей та усуненню реостатного пуску; покращення використання зчіпної ваги внаслідок усунення коливань сили тяги та гальмування, що властиві ступінчастому регулюванню; підвищення жорсткості характеристик в області низької швидкості в

порівнянні з реостатним пуском; можливість неприливної трансформації напруги, яка подається на тягові двигуни з контактної мережі, що дозволяє стабілізувати струм або напругу перетворювача незалежно від коливань напруги мережі і створити систему тяги на постійному струмі при підвищеній напрузі мережі; полегшення автоматизації процесів пуску та електричного гальмування, а також здійснення автоведення поїздів, в результаті чого покращується використання тягових і гальмівних властивостей ЕРС; зниження експлуатаційних витрат внаслідок застосування безконтактних перетворювачів замість контактних комутаційних апаратів.

Перехід на імпульсне регулювання напруги тривалий час стримувався відсутністю силових напівпровідникових приладів з необхідними параметрами. Перші перетворювачі мали складну структуру, значну масу та габарити, що викликані застосуванням в перетворювачах одноопераційних тиристорів низького класу по напрузі та струму. З появою біполярних транзисторів з ізольованим затвором, які витримують зворотну напругу 6500 В, структура перетворювача значно спростила. Наприклад, для регулювання напруги на двох тягових двигунах моторвагонного рухомого складу в режимах тяги і електричного гальмування потрібно застосовувати лише чотири транзистори. На електровозах – вісім транзисторів.

Аналіз ринку виробників напівпровідникових керованих приладів 65 класу за останні 10 років показує, що вартість таких приладів знижується, характеристики покращуються, а кількість виробників збільшується. Тому сьогодні значно простіше виконати модернізацію електрорухомого складу постійного струму тяговими імпульсними перетворювачами.

Динамічні властивості тягового електропривода постійного струму

Карабунт Ю.О., Кедря М.М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Розглядається тяговий електропривод електровоза ДЕ-1. На основі диференціальних рівнянь і структурної схеми привода отримана передаточна функція по напрузі, яка діє на затискачах двигуна. За допомогою передаточної функції отримані частотні та логарифмічні частотні функції і побудовані графіки частотних характеристик привода. Окрім частотних отримані часові функції та їх характеристики.

Аналіз частотних і часових характеристик показав, що тяговий електропривод електровоза ДЕ-1 за динамічними властивостями відповідає аперіодичній ланці другого порядку. Для аналізу стійкості роботи привода отримані нулі та полюси передаточної функції. Їх розташування на комплексній площині показує, що тяговий електропривод є стійким. Це підтверджується критеріями Гурвіца та Михайлова.

Якість процесу регулювання оцінена за допомогою кривої перехідного процесу та корінним методом за допомогою передаточної функції. Отримані нулі та полюси відображають на площі коренів запас стійкості системи та її здатність до коливань.

Список використаної літератури:

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. - К.: Либідь, 1997. – 544 с.
2. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник [Текст] / В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
3. Электровоз магистральный ДЭ-1. Техническое описание [Текст]. ЗТП.000.020-03 ТО. – 1999. – 188 с.

Перспективи використання приватного тягового рухомого складу на магістральних залізницях

Козаченко Д.М., Вернигора Р. В., Березовий М. І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Основною світовою тенденцією підвищення ефективності функціонування ринку залізничних перевезень є демонополізація окремих його секторів. Внутрішня потреба економіки України в демонополізації ринку перевезень пов'язана з хронічною відсутністю фінансування для оновлення основних засобів галузі, в першу чергу, тягового рухомого складу, рівень зношеності якого складає 90%, а по магістральним локомотивам – 95%.

Після розпаду СРСР у 1991 р. локомотивний парк України налічував 1910 електро-возів і 4210 тепловозів, середній рівень зношеності локомотивного парку при цьому становив близько 60%. На початку ж 2017 р. загальний парк локомотивів Укрзалізниці складав 3871 одиниць, них:

- електровози: інвентарний парк – 1720 одиниць, з них в експлуатації – 1061 одиниць (62%), рівень зношеності – 92%;

- тепловози магістральні: інвентарний парк – 670 одиниць, з них в експлуатації – 245 одиниць (37%), рівень зношеності – 99%;

- тепловози маневрові: інвентарний парк – 1481 одиниць, з них в експлуатації – 875 одиниць (60%), рівень зношеності – 84%.

Таким чином, за період 1991-2016 р.р. інвентарний парк локомотивів зменшився на 2249 од. (на 37%), причому в основному за рахунок списання тепловозів, число яких зменшилось на 2059 одиниці (49%), в той час як загальна кількість електровозів зменшилася на 190 одиниць (10%). При цьому середній строк експлуатації українських локомотивів наразі складає близько 35 років: для електровозів (при нормативі 30 років) – 38 років, а тепловозів (при нормативі 20 років) – 33 роки.

Оновлення ж парку локомотивів в Україні йде вкрай повільно. Так, за всі роки незалежності Україна придбала всього близько 100 локомотивів. Варто відзначити фактичне невиконання «Програми оновлення локомотивного парку залізниць України», яка передбачала у період з 2012 р. до 2016 р. придбання більше 500 нових локомотивів на суму 28,7 млрд. грн. (3,6 млрд. USD за курсом 2011 р.), однак придбано було тільки 60 одиниць.

Амбітні плани щодо оновлення тягового рухомого складу містить «Стратегія розвитку ПАТ «Українська залізниця на 2017-2021 р.р.», у якій з цією метою передбачається обсяг інвестицій на рівні 40 млрд. грн., зокрема 30 млрд. грн. на придбання 260 нових локомотивів, та 10 млрд. грн. на модернізацію близько 360 локомотивів. Окрім того, до 2021 року передбачається виведення з експлуатації 1173 наявних наразі локомотивів (30% інвентарного парку), зокрема 598 електровозів (35%) та 575 тепловозів (27%).

Разом з тим, навіть, якщо ці плани будуть реалізовані, рівень зношеності магістральних локомотивів Укрзалізниці становитиме близько 70%, а загальний експлуатований парк локомотивів все ж таки буде недостатнім для безперебійного покриття перспективних обсягів, в першу чергу, вантажних перевезень. Найбільш ефективним та перспективним напрямком виходу з цієї ситуації в умовах обмежених інвестиційних ресурсів є демонополізація ринку залізничних перевезень і допуск до нього приватних перевізників, що мають власні (або орендовані) локомотиви.

Зовнішні стимули до демонополізації ринку перевезень пов'язані з євроінтеграційною стратегією України. Загальнодержавною програмою адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу акти, що регулюють діяльність залізничного транспорту, віднесені до пріоритетної сфери. Одним з основних принципів організації ринку

залізничних перевезень Європейського Союзу є допуск до інфраструктури магістрального залізничного транспорту незалежних перевізників.

Аналіз сучасної нормативної бази показує, що допуск до інфраструктури магістрального залізничного транспорту власних локомотивів вимагає значних змін в нормативному полі, в тому числі і в законодавстві України. Однак за рахунок допуску на магістральну інфраструктуру власних (орендованих) локомотивів може бути частково вирішена існуюча проблема нестачі локомотивів. Локомотиви, які не належать оператору магістральної залізничної мережі, експлуатуються на залізницях США, Канади, країн Європейського Союзу, Російської Федерації, Китаю і ін.

Потенційну можливість для роботи приватних локомотивів на магістральній мережі в Україні при існуючій нормативній базі створюють діючі ПТЕ і «Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом в межах України і на пов'язані з ним послуги». Так, пункт 9.12 Правил технічної експлуатації залізниць України передбачає можливість виходу локомотивів, що належать відомствам, підприємствам та організаціям на шляху загальної мережі залізниць. «Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом в межах України і на пов'язані з ним послуги» містить тарифну схему № 29, яка передбачає тарифікацію послуг з перевезення залізницями загального користування власними (орендованими) локомотивами вагонів в порожньому і навантаженому стані.

Однак, можливість використання приватної локомотивної тяги на магістральному залізничному транспорті в межах України гальмують такі проблеми:

- відсутність правил, що регулюють порядок і умови перевезень залізничним транспортом загального користування вантажів в поїздах з локомотивами, які не належать залізниці;

- відсутність технології, що забезпечує узгодженість і стійкість роботи залізничного транспорту як єдиного комплексу в умовах експлуатації власних локомотивів для виконання перевезень вантажів по магістральній мережі.

Питання нормативного порядку та умов перевезень залізничним транспортом загального користування вантажів з локомотивами, що не належать залізницям, повинні бути визначені в «Правилах перевезення вантажів» як «Правила перевезення вантажів у поїздах з власними (орендованими) локомотивами». Цей документ повинен містити:

- порядок планування і узгодження перевезень;
- порядок виділення пропускну здатності інфраструктури в разі виконання багаторазових перевезень;
- порядок формування поїздів з власними (орендованими) локомотивами;
- порядок оформлення вантажів, що перевозяться в поїздах з власними (орендованими) локомотивами;
- зразки оформлення документів.

Підготовка «Правил перевезення вантажів в поїздах з власними (орендованими) локомотивами» відноситься до компетенції Департаменту державної політики в галузі залізничного транспорту Міністерства інфраструктури. Впровадження такого документа в дію здійснюється наказом Міністерства інфраструктури України.

Нормативне забезпечення узгодженості і стійкості роботи залізничного транспорту як єдиного технологічного комплексу в умовах експлуатації власних локомотивів при виконанні перевезень на магістральних лініях загальної мережі повинно реалізовуватися за рахунок розробки «Порядку обертання власних (орендованих) локомотивів на коліях загальної мережі залізниць» і «Технології перевезення вантажів в поїздах з власними (орендованими) локомотивами» для окремих напрямків.

«Порядок обертання власних (орендованих) локомотивів на коліях загальної мережі залізниць» повинен визначати основні вимоги до технічного стану локомотивів і кваліфікації локомотивних бригад, які допускаються до роботи на коліях загальної мережі

залізниць, порядок отримання дозволу на вихід власних (орендованих) локомотивів на колії загальної мережі залізниць і порядок контролю їх експлуатації. Даний порядок відповідно до п. 9.12 ПТЕ повинен розроблятися і затверджуватися Укрзалізницею.

«Технологія перевезення вантажів в поїздах з власними (орендованими) локомотивами» повинна містити обґрунтування параметрів поїздів та опис технології взаємодії залізниць, промислових підприємств і власників локомотивів по здійсненню перевезень на конкретному напрямку. Дана технологія розробляється підприємством, що виконує перевезення власними (орендованими) локомотивами, і узгоджується Укрзалізницею, а також власниками під'їзних колій, на яких відбувається зародження і погашення поїздопотоків.

Обмеженням для входу на ринок приватної локомотивної тяги є досить висока вартість локомотивів. Приватні локомотиви можуть дозволити собі підприємства, що утворюють або погашають стійкі вагонопотоки. При цьому, як правило, ефективними є варіанти по формуванню і погашенню поїздопотоків на коліях незагального користування. Техніко-економічний аналіз ефективності використання власних локомотивів показує, що така технологія є конкурентоспроможною при використанні для виконання перевезень бувших в експлуатації локомотивів після капітального ремонту. Придбання нових локомотивів іноземного виробництва є ефективним для компаній-операторів вагонів в умовах зростання обсягів перевезень, так як вкладення фінансових ресурсів в локомотиви є більш ефективним, ніж вкладення в вагони.

Доцільним для Укрзалізниці є також диференціація тарифу на перевезення власними (орендованими) локомотивами не тільки в залежності від виду тяги локомотива, а й від виду тяги на лінії, по якій здійснюється перевезення. Такий крок дозволить Укрзалізниці реалізувати частину магістральних тепловозів, що вимагають капітального ремонту, і завантажити малодіяльні ділянки залізниць з тягою тепловоза.

Допуск на магістральну інфраструктуру власних локомотивів дозволить відпрацювати відповідну технологію і дасть можливість сформуватися на базі операторів локомотивної тяги незалежним вітчизняним перевізникам, які будуть конкурентоспроможні після відкриття сегмента ринку перевізної діяльності відповідно до вимог законодавства Європейського Союзу.

Алгоритми широтно-імпульсної модуляції в однофазному тяговому перетворювачі на повністю керованих вентилях

Краснов О. О., Божко В. В., Харківське відділення філії «ПВІЗТ» ПАТ «УЗ»

Одним із способів зниження споживання реактивної енергії електровозом змінного струму з колекторними тяговими двигунами може бути заміна діодного або тиристорного випрямляча на перетворювач на повністю керованих ключах. Відомо, що живлення двигуна постійного струму можна забезпечити від активного випрямляча струму, принцип роботи якого полягає в активному формуванні кривої струму з синусоїдальною формою і практично нульовим фазовим зсувом відносно напруги живлення.

Активний випрямляч струму побудований за однофазною мостовою схемою на повністю керованих ключах (IGBT-транзисторах) з односторонньою провідністю. Зменшення вищих гармонік струму в мережі живлення забезпечується встановленням на вході випрямляча буферного конденсатора, який, крім того, виконує функцію компенсації реактивної потужності навантаження.

Для дослідження електромагнітних процесів і оцінки показників якості електроенергії було розроблено математичну модель системи електропостачання, яка включає в себе первинну мережу, тяговий трансформатор з номінальною напругою 25/1,26 кВ, активний

випрямляч струму, тяговий двигун постійного струму послідовного збудження. Вказана модель була реалізована в пакеті MATLAB.

Роботу активного випрямляча струму доцільно розглянути для трьох варіантів однопольних ШІМ: синусоїдальної (СинШІМ), трапецеїдальної (ТрШІМ) і прямокутно-ступінчатої (ПСШІМ). Основними критеріями оцінки ефективності активного випрямляча обрано коефіцієнт потужності (K_m), коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги (K_U) і коефіцієнт спотворення струму (v_i) первинної обмотки трансформатора. За результатами віртуальних експериментів отримано залежності K_m і K_U від коефіцієнта модуляції μ , який змінювали від 0,2 до 1,0.

Встановлено, що для всіх прийнятих алгоритмів ШІМ коефіцієнт потужності вище 0,9 забезпечується при $\mu > 0,5$. При глибокому регулюванні ($\mu = 0,2 \dots 0,5$) коефіцієнт потужності змінюється в межах 0,6...0,9 незалежно від алгоритму ШІМ. У всьому діапазоні регулювання активний випрямляч струму працює з коефіцієнтом потужності: 0,709...0,986, середнє 0,962 (СинШІМ); 0,611...0,984, середнє 0,954 (ТрШІМ); 0,621...0,992, середнє 0,960 (ПСШІМ). Максимальне значення K_U (при коефіцієнті модуляції 0,7...1,0) становить 1,83 % (СинШІМ), 1,46 % (ТрШІМ), 1,47 % (ПСШІМ). Коефіцієнт спотворення струму (відношення діючого значення першої гармоніки струму до діючого значення цього струму) для всіх алгоритмів ШІМ змінювався в залежності від навантаження від 0,968 до 0,993.

Результати проведених досліджень показали, що середній коефіцієнт потужності при СинШІМ та ПСШІМ практично однаковий, але при останньому алгоритмі досягається менший коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої первинної напруги. Таким чином, найкращі енергетичні показники активного випрямляча при роботі на двигун постійного струму забезпечуються при прямокутно-ступінчатій ШІМ.

Для забезпечення роботи з високим коефіцієнтом потужності в усьому діапазоні навантажень слід передбачити кілька зон регулювання випрямленої напруги. Синтез силової схеми і алгоритму управління даного перетворювача планується провести у наступних дослідженнях.

Інноваційні транспортні засоби та технології: сонячно-енергетичний аспект

Колесников С.Р., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Розглянуто концепт нового, п'ятого, виду транспорту – Hyperloop, вакуумного поїзда, який працюватиме на сонячній енергії. Наведено приклади використання сонячних панелей в існуючому залізничному пасажирському рухомому складі.

Традиційні засоби транспортування пасажирів і вантажів (водний, автомобільний, повітряний, залізничний) постійно удосконалюються. Одним із головних факторів при цьому сьогодні виступає екологічний чинник.

Розуміння необхідності зниження негативних екологічних, соціальних та економічних наслідків експлуатації цих чотирьох систем ініціювали рух за альтернативні засоби транспортування, які б використовували існуючі переваги та інноваційні транспортні технології для ефективного переміщення людей та вантажів.

Результатом цього руху стала ідея-проект п'ятого виду транспорту – Hyperloop, вакуумного поїзда, автором якого є засновник «Tesla Motors» Ілон Маск (Elon Musk, 2012-2013). І. Маск запропонував переміщувати поїзди особливої форми в спеціальних трубах із низьким тиском. Самій ідеї вже більше 200 років (1799 р. – патент George Medhurst; 1880 р. – атмосферна залізниця, Atmospheric railway; 1910 р. – вакуумний поїзд Robert Goddard), але досі вона не була реалізована. Згідно з проектом І. Маска, поїзди повинні

рухатися в просторі за допомогою принципу магнітної подушки, завдяки чому вагони не торкатимуться поверхні рейки. У травні 2016 року в США пройшли перші випробування візка, який став прообразом майбутнього поїзда Hyperloop. Результати виявилися більш ніж вражаючими. Так, візок розігнали до 482 км / год, причому перші 100 км були пройдіні усього за 1,1 секунди (Джанджугова Е.А., 2016).

У березні 2016 р. підписано договір із урядом Словаччини про будівництво траси, яка з'єднає Братиславу з Віднем і Будапештом. Час поїздки між містами – вісім хвилин. У січні 2017 р. підписано угоду про вивчення маршруту Братислава–Брно–Прага. Серед інших європейських маршрутів – Париж–Амстердам. Команда Варшавського технологічного університету оцінює потенційні маршрути з Кракова до Гданська.

Важливим є факт того, що Hyperloop-система працюватиме на сонячній енергії, тобто система буде приводитися в рух електрикою, енергія для якої отримана за допомогою сонячних батарей.

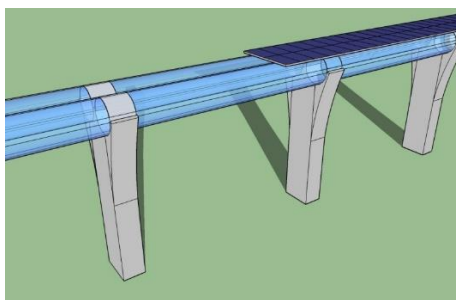


Рис. Вигляд запропонованої системи ззовні. На даху розташовані сонячні батареї (Elon Musk).

За попередніми розрахунками, батареї повинні виробляти 57 МВт електроенергії при потребі системи тільки в 21 МВт. Оскільки статор виконує не тільки прискорення, але і гальмування, в останньому випадку кінетична енергія капсули також перетворюється в електричну. Від продажу надлишків енергії планується виручати \$ 25 млн щорічно, що створить додаткове джерело фінансування експлуатаційних витрат (Березин А., 2013).

Якщо на сьогодні питання енергоефективності є більш-менш зрозумілими, то питання комфорту пасажирів при русі на високих швидкостях у замкненому просторі імпровізованого вагона-капсули викликає надзвичайно багато питань (які втім вже мають пропозиції щодо вирішення).

Так, у техніко-економічному обґрунтуванні Hyperloop (Catherine L. Taylor, David J. Hyde, Lawrence C. Barr, 2016) представлено порівняльну таблицю комфортності у різних засобах транспортування пасажирів.

	Hyperloop	Повітряний транспорт	Маглев	Високошвидкісний поїзд (HSR)
Комфортність перевезень	Невизначено, але присутній «рефлекс блювоти», потенційно гучний	Мало простору для ніг, менш продуктивне використання часу	Невідомо на довгих відстанях, але схоже з HSR	Зручний із добре організованим використанням часу

Втім Hyperloop, працюючий на енергії сонця, – це транспорт майбутнього. А сьогодні в багатьох країнах світу відбувається повсюдне впровадження технологій сонячної енергетики в рухомому складі залізниць, як додаткових заходів із енергоефективності та економії енергії (адже більшу частину свого «життєвого циклу» одиниці рухомого складу проводять під променями сонця).

Так, на дахах індійських вагонів з 2017 р. стоятимуть сонячні панелі, які забезпечать близько 15% енергії для поїздів. Звичайно, ще рано говорити про повноцінну заміну дизельних двигунів, але ми говоримо про скорочення викидів приблизно на 200 тонн CO₂

на рік. Коли потяги не використовуються, сонячні панелі будуть генерувати поновлювану енергію, яка буде використовуватися в якості екологічно чистої енергії в комерційній електромережі.

Одним з альтернативних вирішень питання зниження затрат на використання сонячних панелей є застосування вагонних вікон в якості приймачів сонячних променів. Так, вченими Мічиганського державного університету створено прозорі сонячні батареї – плівку, яку можна буде клеїти безпосередньо на вікна (у проміжному шарі склопакетів вагонів).

Але більш перспективним, на наш погляд, є використання сонячних панелей в якості жалюзі у пасажирському рухомому складі. Наприклад, енергогенеруючі сонячні жалюзі (розробка українського послідовника) були представлені на конференції iForum у Києві в 2016 р. Пристрій SolarGaps – це фотоелектричні елементи, які монтуються на віконні жалюзі з внутрішньої або зовнішньої частини віконного отвору. Так, жалюзі (завдяки наявності датчиків руху) зможуть відкриватися лише при присутності у вагоні людини, а після висадки пасажирів через 15 хвилин вони будуть повертатися в режим максимальної генерації. Ці модулі перетворюють сонячне випромінювання в теплову та електричну енергію, роблячи приміщення незалежним від зовнішніх електричних мереж. Крім того, такі жалюзі будуть органічно вписуватися в інтер'єр вагону, покращуючи одночасно кліматичні умови у період яскравого сонячного освітлення та підвищуючи додатково комфортність.

Підвищення техніко-економічних показників підприємств засобами електропривода

Кухар П. Ю., Краснов Р. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Електрична енергія є одним з найбільш важливих продуктів в сучасному індустріальному суспільстві. На сьогоднішній день підвищену увагу привертає питання її збереження. Це пов'язано з обмеженням основних видів енергоресурсів, зростанням складності їх видобування і відповідно, високою вартістю, а також із загостренням глобальних екологічних проблем. Добути тонну палива і виробити відповідну кількість енергії майже удвічі дорожче, ніж заощадити. У зв'язку із зростанням цін на електроенергію і обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема економії енергії набуває останнім часом особливої актуальності.

Енергозбереження в загальному вигляді зводиться до зниження даремних втрат енергії. Методом його досягнення є застосування в широких масштабах енергозберігаючих технологій.

Майже 60%, а в деяких галузях промисловості до 80%, всієї виробленої електроенергії споживається електроприводами машин і механізмів, які приводять у дію системи на виробництві та в побуті.

Широкого застосування в електроприводах багатьох механізмів отримали асинхронні двигуни. До їхніх переваг відносяться простота конструкції, надійність та більш низька вартість у порівнянні з іншими видами двигунів. Вони використовуються в механізмах відцентрової дії, які є найбільш масовими і енергоємними споживачами електричної енергії. Тому питання економії електроенергії засобами електропривода у насосних установках є гострим і актуальним на сьогоднішній день.

Гідравлічна машина, яка здійснює переміщення рідини під напором при передачі їй енергії, називається насосом. Насос в сукупності з електродвигуном та передаточним механізмом утворює насосний агрегат. Комплекс устаткування, що забезпечує роботу насосів у потрібному режимі та складається з одного або кількох насосних агрегатів, трубоп-

роводів, регулюючої арматури, контрольно-вимірювальної апаратури, а також апаратури керування та захисту, утворює насосну установку.

Щорічно системами водопостачання витрачається приблизно 20% всієї енергії країни, що виробляється. Високе енергоспоживання цих об'єктів надає важливого значення проблемі економії електроенергії в насосних установках.

Переважає більшість асинхронних електродвигунів промислових насосних установок працює у нерегульованому режимі. Коефіцієнт завантаження багатьох машин не перевищує 50%, що викликає необхідність зниження встановленої потужності двигунів. Це не дозволяє отримати раціональні показники енергоспоживання зі зміною технологічних параметрів в широких межах, адже робота привода в недовантаженому режимі призводить до величезних втрат електроенергії.

Заміна нерегульованих електроприводів промислових насосів на регульовані системи дає можливість знизити енергоспоживання та підвищити енергетичні показники підприємства. Це також дозволяє економити енергію не тільки в самому електроприводі, але і енергію, що використовується у всій технологічній установці.

Розподіл вагонів під навантаження в умовах реструктуризації

Логвінова Н.О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Logvinova, N. «IMPROVING DISTRIBUTION WAGONS FOR LOADING IN TERMS OF RESTRURING UZ». In terms of restructuring ultrasound distribution empty wagons for loading, moving to their owners, who are currently limited in the most efficient load regulation resources, so the best is to attract operators rolling in the operational management of transportation process.

В умовах реструктуризації УЗ розподіл порожніх вагонів під навантаження, відповідно до заявок вантажовідправників, переходить до їх власників, які в даний час обмежені в можливостях найбільш раціонального регулювання навантажувальних ресурсів по ряду причин.

Першою причиною є недостатність інформації про попит на перевезення. Власник вагонів не володіє всією повнотою інформації про попит на перевезення, оскільки він обмежується кількістю клієнтів, з якими укладені договори на надання рухомого складу.

Другою причиною є обмеження по оперативності реагування на надання послуг з перевезення вантажів. Заадресовка вагонів власника під навантаження здійснюється зі станції вивантаження попереднього вантажу, яка може перебувати на значній відстані від необхідної станції навантаження. Термін надання вагона під навантаження залежить від дальності розташування станції заадресовки.

Третьою причиною є непередбачуваність термінів перевезення. Власник вагонів не володіють повною інформацією про технології організації експлуатаційної роботи на конкретних залізничних полігонах. В результаті вони мають у своєму розпорядженні лише приблизними розумінням можливих термінів перевезення вагонами по конкретному напрямку. При цьому нормативний термін доставки є досить умовним і в реальності може серйозно варіюватися.

Таким чином, можна зробити висновок, що необхідно укрупнювати власників рухомого складу до великих холдингів, які будуть виконувати функції операторів рухомого складу. Це стосується як правового статусу оператора в якості повноцінного учасника перевізного процесу, так і доступу до відповідного інформаційного забезпечення. Розрив між наявністю функції управління і серйозним обмеженням важелів для цього управління

призводить, в тому числі, і до позначених вище негативних наслідків в експлуатаційній роботі залізниць.

Ліквідація цього розриву можлива двома шляхами: поверненням до інвентарному парку або більш тісним залученням операторів рухомого складу в оперативне управління перевізним процесом. Тому, з метою становлення здорового конкурентного середовища на ринку залізничних перевезень, кращим є другий варіант.

При цьому, в умовах інвентарного вагонного парку перевізник на свій розсуд на підставі заявок вантажовідправників, дислокації порожніх вагонів і вагонів з місцевим вантажем, з урахуванням ситуації, щодо експлуатаційної обстановки, ухвалював рішення про регулюванні навантажувальних ресурсів. Плануванні забезпечення заявок клієнтів рухомим складом здійснювалося цілодобово, позмінно, по 4-6 годинним періодам, а оперативне регулювання - в режимі реального часу.

Апроксимація універсальної магнітної характеристики колекторних тягових двигунів тригонометричним рядом Фур'є

Марікуца С.Л., Забарилло Д.О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На електрорухомому складі постійного та змінного струму найбільшого розповсюдження набули колекторні тягові електричні двигуни послідовного збудження. При необхідності розрахунку електромеханічних характеристик зазначених двигунів можливо використовувати універсальну магнітну характеристику, яка являє собою залежність магнітного потоку головних полюсів (Φ) від магніторушійної (намагнічуючої) сили (F), виражену у відносних одиницях.

Відомо, що тягові двигуни відмінні між собою по конструктивному виконанню та технічним параметрам мають практично однакові магнітні характеристики, за умови рівності їхніх коефіцієнтів насичення в номінальному режимі (K_n). У випадку відмінності коефіцієнтів насичення K_n магнітні характеристики різних тягових двигунів мають однакове накреслення, при цьому точка, котра відповідає номінальному режиму лежить у різних місцях універсальної магнітної характеристики. Також варто відмітити ту особливість, що універсальна магнітна характеристика враховує розмагнічуючу дію реакції якоря, оскільки вона побудована по результатам обробки навантажувальних характеристик реальних тягових двигунів.

При виконанні розрахунків користуватися універсальною магнітною характеристикою та похідною універсальної магнітної характеристики, не досить зручно, оскільки не встановлено чіткого аналітичного взаємозв'язку між її параметрами. Тому для автоматизації розрахунків та зменшення затрат часу на їх виконання, бажано представити універсальну магнітну характеристику та її похідну за допомогою аналітичних виразів.

Аналітичні залежності $\Phi(F)$ та $d\Phi/dF(F)$ можуть бути використані при моделюванні як стаціонарних, так і перехідних електромеханічних процесів. Тому бажано, щоб апроксимуюча функція та похідна від неї відображали якомога близько реальну універсальну магнітну характеристику та її похідну.

В роботі авторами запропоновано використовувати для апроксимації універсальної магнітної характеристики тригонометричний ряд Фур'є. До переваг даного методу апроксимації можна віднести: виконання наведених вище вимог; можливість легкого диференціювання та інтегрування апроксимуючого виразу. Основним недоліком є необхідність отримання вихідних даних, тобто параметрів універсальної магнітної характеристики з постійним приростом значень намагнічуючої сили.

Як показали дослідження для апроксимації універсальної магнітної характеристики та її похідної можна рекомендувати використовувати тригонометричні ряди Фур'є з числом гармонік більшим семи.

Результати експлуатації швидкісних електропоїздів на залізницях України

Михайленко Ю.В., Байбара О.О., Генсировський Є.О. (ДНУЗТ)

Починаючи з 2012 року на залізницях України експлуатуються у міжрегіональному сполученні швидкісні електропоїзди серій HRCS2 і EG675. На початковому етапі це була дослідна експлуатація з пасажирами в межах якої було проведено експлуатаційні випробування цієї техніки з подальшим введенням її в постійну експлуатацію. З часом парк швидкісних електропоїздів поповнився двома складами серії ЕКр1 і на сьогодні інвентарний парк швидкісних електропоїздів Укрзалізниці складає 14 складів, які використовуються у швидкісному русі на всіх залізницях України, а електропоїзди HRCS2 ще і у міжнародному сполученні.

Розширення мережі маршрутів поїздів категорії "Інтерсіті +", що відбулося в останні роки, призвело до збільшення кількості їх відправлень. Тільки за першу половину 2017 року вона досягла 4745, як наслідок, покращилися показники експлуатаційної роботи – збільшився середньомісячний наробіток состава електропоїзда до 37 тис. км. (серія HRCS2), і до 28 тис. км. у електропоїзда ЕКр1. Натомість погіршилися показники виконання графіка руху швидкісних поїздів, як по відправленню, так і по слідуванню. Однією з причин такої тенденції є "людський чинник". Зниження рівня кваліфікації персоналу і відповідальності працівників залізниць за виконання посадових обов'язків тягнуть за собою зростання збитковості перевезень і загрожують безпеці руху. Лише за першу половину 2016 року на адресу компаній – виробників "Hyundai Corporation" і ПАТ"КВБЗ" виставлено претензії за збитки від затримок електропоїздів на загальну суму 52 500 доларів США та 404 475 гривень.

В більшості випадків затримки обумовлені відмовами обладнання електропоїздів внаслідок недосконалості конструкції, неякісного технічного обслуговування і складних умов експлуатації перш за все в зимовий період. Спостерігається загальна тенденція зменшення кількості відмов, як в абсолютних одиницях, так і приведених до обсягів виконаної роботи, що обумовлено набутим досвідом обслуговування і значною кількістю проведених модернізацій обладнання. Несправності виникають на всіх видах обладнання і в системах електропоїздів, але найбільша доля від загальної кількості відмов припадає на пневматичне і гальмове, електричне, салонне обладнання, двері автоматичні, міжвагонні, салонні сенсорні, систему відео спостереження і сповіщення. Така картина характерна для всіх серій електропоїздів. Кількість відмов дахового обладнання традиційно збільшується в зимовий період при погіршенні погодних умов. Значна кількість збоїв в роботі і відмов обумовлена недосконалістю і несвоєчасним корегуванням програмного забезпечення систем управління складним обладнанням електропоїзда і його систем.

Зменшення кількості відмов на лінії в значній мірі залежить від якості виконання робіт працівниками сервісно-технічного обслуговування компаній-виробників.

Комп'ютерне моделювання режимів підвищеної частоти тягового трансформатора

Муха А.М., Бондар О.І., Устименко Д.В., Куриленко О.Я., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Проблема модернізації електрорухомого складу (ЕРС) українських залізниць є на сьогодні вкрай актуальною через високий ступінь зносу останнього (~ 90%). Водночас важливою складовою задачі створення нового високошвидкісного та енергоефективного електрорухомого складу є розробка сучасних тягових силових трансформаторів призначених для роботи у складі єдиного електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронний двигун».

На нашу думку, застосування комп'ютерного моделювання в рамках цієї задачі є раціональним шляхом прогнозування електричних величин у різних режимах роботи зазначеного електротехнічного комплексу.

Під час означеного моделювання слід враховувати, що на відміну від силових трансформаторів промислових електричних систем, у моделях яких в більшості випадків електричною ємністю можна знехтувати, модель тягового трансформатора має бути адекватною у широкому діапазоні частот і для цього має містити у своєму складі власні ємності окремих частин трансформатора. Зокрема власна ємність обмоток трансформатора складається з ємностей між внутрішнім шаром обмотки та магнітопроводом, між шарами обмотки, між окремими обмотками. Існують також ємності між зовнішнім шаром обмотки та екраном або баком трансформатора, монтажні ємності та ємності підключених провідників.

Відомі на сьогодні схеми заміщення тягових трансформаторів базуються на теорії електричних кіл із взаємною індуктивністю. Актуальною задачею на сьогодні є адаптація їх структури під стандартні модулі програм комп'ютерного моделювання, таких, як, наприклад, Matlab Simulink, з додаванням відповідних ємностей.

В даному дослідженні наведено саме таку модель тягового трансформатора потужністю 7000 кВА та результати здійснених на її основі результатів комп'ютерного моделювання високочастотних режимів роботи згаданого трансформатора. Моделювання проводилося для режиму неробочого ходу. Метою досліджень є виявлення можливих резонансних явищ у дослідному діапазоні.

Проведені у роботі дослідження свідчать, що шляхи протікання струмів високих частот через трансформатор в діапазоні від 50 Гц до 100 кГц утворених головним чином частотним перетворювачем, не містять в своєму складі резонансних ділянок з відповідними небезпечними струмами або перенапругами.

Розроблена модель є цілком адекватною і може бути використана у подальшому у розрахунках електромагнітних процесів на усіх ділянках електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронний двигун» зокрема з метою забезпечення електромагнітної сумісності нового електрорухомого складу, що також є необхідною умовою його впровадження в експлуатацію на залізницях України.

Опирање екипажей maglev с електродинамической левитацией на низких скоростях

Новиков В.Ф., ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»

A promising way to solve the problem of supporting the vehicle of MAGLEV with electrodynamic levitation at low speed is to install the support wheels on the track structure and many little support wheels on the vehicle. By precisely locating the support wheels with respect to the suspension and direction coils, the issue of high electromagnetic impedance to the

movement of the vehicle at low speeds in the parking, acceleration and deceleration zones is easily solved.

В настоящее время для высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) с магнитной левитацией (MAGLEV) используются две основные системы магнитного подвеса:

1. Электромагнитный подвес (ЭМП), в котором используется притяжение электромагнитов поезда к ферромагнитной путевой структуре (Германия, Китай, США).

2. Электродинамический подвес (ЭДП), основанный на эффекте отталкивания, который возникает при взаимодействии магнитного поля автономного движущегося источника постоянного магнитного поля с полем вихревых токов, наведенных им в электропроводящей путевой структуре (Япония, США, Украина).

При всех своих достоинствах ЭДП, по сравнению с ЭМП, имеет существенный недостаток – на малых скоростях подвес не работает, что приводит к необходимости использования колёсного опирания.

В связи с высоким аэродинамическим сопротивлением при скоростях порядка 500 км/ч, в настоящее время используется убаивающееся шасси самолётного типа

В авиации масса шасси составляет $\approx 5\%$ от массы самолёта. Следовательно, при массе экипажа 20т, масса шасси составит 1т, а с учётом резервирования обеспечивающих систем – 1,5т, что равняется массе 20-и пассажиров. При этом необходимо обеспечить синхронность и синфазность работы всех шасси экипажа, т.к. у поезда отсутствует возможность подождать выхода стоек шасси при помощи ухода на второй круг.

Кроме того, в авиации стойки шасси после выпуска и посадки доступны для осмотра, контроля и обслуживания, что для поезда возможно только во время планового ТО или ТР в депо.

Ранее предложен перспективный способ решения данной проблемы – установка опорных колёс на путевой структуре по типу рольганга. На малых скоростях движению экипажа в зонах станций (стоянка, разгон и торможение), путём точного расположения опорных колёс относительно катушек подвеса и направления, снижается электромагнитное сопротивление, а предварительная раскрутка колёс до синхронизации со скоростью экипажа позволит уменьшить их износ.

Для аварийной посадки на перегонах вне станционных зон на экипаже предлагается установить большое число стационарных небольших колёс, прикрытых сдвигающимся обтекателем. При падении скорости и подъёмной силы экипаж садится этими колёсами на опорные рельсы путевой структуры.

Контактно-аккумуляторный электровоз

Новиков В.Ф., Зайцев Н.Н. ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»

The experience in the manufacture of contact-battery locomotives in 1966-67yy and the experience of producing modern electric locomotives in the 2000s provides an opportunity to count on the production of a modern competitive domestic contact-battery locomotive

В настоящее время во всём мире проявляется повышенный интерес к аккумуляторным и контактно-аккумуляторным локомотивам и поездам.

В связи с экономической нецелесообразностью сплошной электрификации железнодорожных путей Украины в настоящее время эксплуатируется большое количество тепловозов и дизель-поездов, которые продуцируют шум и вредные выбросы в атмосферу, что наносит ущерб экологии страны.

В конце 1960-х годов на Днепропетровском электровозостроительном заводе была построена опытная партия контактно-аккумуляторных локомотивов ВЛ26.

Пуск електровоза виконаний з допомогою реостатів. На стоянках електровоза батарея заряджається через пускові резистори.

По результатам тягово-енергетических испытаний были выявлены следующие недостатки нового локомотива:

Малое количество пусковых позиций приводило к большим толчкам при разгоне.

При работе на аккумуляторах и токе часового режима скорость составляла всего 1,2 км/ч, что намного ниже проектной скорости.

Из-за большого внутреннего сопротивления батареи напряжение на её выводах при часовом токе падало с 840 В до 360—400 В. При использовании электровоза для надвига состава на горку приходилось работать на реостатных позициях, что приводило к дополнительным потерям энергии.

Принятый способ заряда аккумуляторной батареи приводил к ее перегреву при работе электровоза с большими токами, а отсутствие контроля за ее зарядом к случаям выхода электровоза на неэлектрифицированные пути с незаряженной батареей или, наоборот, к перезарядке и выкипанию электролита.

На основании результатов испытаний, проведенных ЦНИИ МПС, был сделан вывод, что в выполненном виде продолжать постройку электровозов ВЛ26 нецелесообразно.

Однако, указанные недостатки являются прямым следствием устаревшей элементной базы, использованной при строительстве данной серии локомотивов. Учитывая опыт производства современных электровозов серии ДЕ и возможность использования современной электроники в купе с новыми аккумуляторными батареями можно ожидать выпуска современного конкурентоспособного отечественного контактно-аккумуляторного локомотива.

Оборот вагону в нових умовах

Папахов О. Ю., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

У нових ринкових умовах, коли найважливішим пріоритетом в роботі Укрзалізниці стало підвищення клієнто-орієнтованості, конкурентоспроможності та якості послуг, що надаються, однією з актуальних задач є формування збалансованої системи показників для оцінки ефективності перевізного процесу. Основна вимога до таких показників - це можливість охопити всі етапи технології для поелементного аналізу кожного з них. Обороти - це не просто час, що витрачається вагоном на один перевізний цикл, а параметр якості, спрямований як на прискорення просування рухомого складу, так і на мінімізацію непродуктивних втрат. Важливість цього комплексного аналітичного показника і інструменту нормування експлуатаційної роботи зберігається при будь-якій структурі парку.

В умовах приватного парку вагонів перевізник управляє лише частиною елементів їх обороту. А перебування рухомого складу на коліях незагального користування - це зона відповідальності вантажовідправників, вантажоодержувачів і операторів. В таких умовах класичний показник обороту вагона не може об'єктивно оцінити ефективність діяльності кожного з учасників перевезень. В даний час виникла необхідність розробки методики технічного нормування часу обороту вантажного вагона на інфраструктурі загального користування, що передбачає облік робочого парку за вирахуванням вагонів, що знаходяться на під'їзних коліях, а також рухомого складу, що не задіяний у перевезенні вантажів. Застосування нового підходу до визначення обороту вагона дозволить дати більш об'єктивну оцінку елементів перевізного процесу, що знаходяться в сфері відповідальності дирекцій залізничних перевезень і власників колій незагального користування, сформулювати чітке

уявлення про наявні резерви підвищення якості транспортних послуг та, як наслідок, оперативного їх використання.

Сьогодні показує в середньому по мережі УЗ вантажний вагон знаходиться в русі тільки 22% часу свого обертуту, на технічних станціях - 38% часу, під вантажними операціями - 40%. За період обертуту 4,6 доби вагон близько 7 раз обробляється на технічних станціях, де виконувалися операції по розформуванню і формуванню, технічні та комерційні огляди, зміна локомотивів і локомотивних бригад, поповнення або відчеплення в зв'язку зі зміною вагових норм.

Оцінка ролі кожного учасника перевізного процесу та своєчасне прийняття коригуючих заходів має вирішальне значення для досягнення кінцевого результату. Саме це завдання і вирішує актуалізований показник обороту вагона. В даний час виникла необхідність вирішувати в пріоритетному порядку визначення оптимальної моделі управління парком приватних вантажних вагонів, питання технічного нормування порожніх вагонів, визначення відповідальності операторів в рамках транспортного законодавства та багато іншого.

Визначення оптимальних режимів роботи тягового асинхронного приводу електрорухомого складу

Петренко О.М., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова; Любарський Б.Г., Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Ефективність тягового приводу в певному режимі його роботи оцінюватимемо за критерієм максимуму його ККД за умови дотримання вимог, що накладаються режимами роботи. Тому завдання визначення ефективності тягового приводу зводиться до знаходження максимуму функції ККД приводу. Слід зазначити що енергія, яка перетворюється електрорухомим складом, протягом перетворення проходить шлях, що визначається, в першу чергу, структурою тягового приводу. Структура тягового приводу залежить від:

- роду струму електрорухомого складу (постійний, змінний або багатосистемний);
- типу тягового двигуна (асинхронний, постійного струму, синхронний та інші);
- роду служби електрорухомого складу (пасажирський, вантажний, маневровий)
- типу рухомого складу (локомотив, електропоїзд, метро вагон, трамвай та інший).

На режими роботи кожній з ланок тягового приводу впливають різні фактори. Так, наприклад, на режими роботи вхідного перетворювача впливають в першу чергу процеси у тяговій мережі, на механічну частину тягового приводу – режими руху електрорухомого складу на ділянці колії (швидкість руху та сила тяги). Режими роботи тягового двигуна та вихідного перетворювача визначаються режимами роботи електрорухомого складу – параметрами руху, а також режимами роботи тягового приводу – вектор параметрів. На відміну від тягового приводу на основі колекторних двигунів, тяговий привод на основі асинхронних двигунів з автономними інверторами напруги може працювати в одній і той же точці (частоти обертання та моменту) з різним рівнем втрат у елементах приводу. Тому задачу визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу можливо звести до визначення оптимальних режимів роботи ланки двигун – інвертор з урахуванням обмежень, що встановлюються на роботу механічної частини тягового приводу (обмеження по зчепленню та швидкості).

Асинхронний тяговий привод може працювати у режимах:

- максимальної тяги або гальмування – режим максимального моменту двигуна;
- підтримання заданої швидкості руху – режим максимального ККД двигуна;
- вибігу або механічного гальмування – режим холостого ходу.

У роботі запропоновано вираз для визначення ефективності тягового приводу електрорухомого складу. Вираз включає визначення ефективності як максимальне значення ККД ланки двигун-інвертор в різних режимах роботи за умов обмежень по зчепленню, конструктивній швидкості. Створена математична модель для визначення ефективності тягового приводу. Модель включає в себе визначення основних втрат у двигуні з урахуванням насичення магнітної системи, що визначається за результатами вирішення рекурентного нелінійного рівняння. Також у моделі враховані втрати від вищих гармонік напруження в міді та сталі, а також механічні та додаткові втрати. В розробленій моделі враховуються статичні та динамічні втрати у IGBT транзисторах та діодах напівпровідникового перетворювача. Модель доповнена виразами, що визначають ККД ланки двигун-інвертор та розраховують обмеження за зчепленням. Розроблено алгоритм вирішення задачі аналізу по визначенню ефективності тягового приводу, в основу якого покладена створена математична модель. Наведені результати оптимізації режимів роботи тягових приводів трамвая Татра ТЗВПА та тепловоза з електричною передачею потужності 2TE25A у всьому діапазоні частот обертання тягових двигунів.

Модернізація електрообладнання

Селін Д.С., Устименко Д.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Модернізація обладнання верстатів – це внесення в конструкцію вузлів машини змін і удосконалень, що підвищують її технічний рівень і експлуатаційні параметри: продуктивність, точність, безпеку роботи, легкість обслуговування; це продовження життя старому, що відслужив свій термін обладнання, або вдосконалення чинного устаткування, яке з тих чи інших причин не задовольняє власника. Так як придбання нового обладнання не кожному підприємству по кишені, то проблема вирішується модернізацією. Модернізація торкається будь-яких складових устаткування: механічної, пневмо- чи гідросистеми, систем автоматичного керування. Як правило здійснюють як комплексний підхід, але можлива і модернізація окремих елементів.

Наведемо декілька прикладів модернізації обладнання:

1. Модернізація кранового електроприводу. Модернізація кранового електроприводу полягає в заміні релейно-контактної апаратури на сучасну систему керування, що будується із застосуванням програмованого логічного контролера і частотного приводу. Відсутність великих пускових струмів і м'який розгін електродвигунів значно подовжить термін служби крану, а також дозволить заощадити на витратних матеріалах і запчастинах. Не потрібно періодичне регулювання контактів та їх заміна, обслуговування механічного гальма спрощується у зв'язку з тим, що система управління накладає гальмо при зниженні швидкості близької до нульової, що зменшує знос механічних гальм. Можливість регулювання плавності розгону підвищить комфорт і безпеку роботи.

2. Модернізація токарних, розточувальних, зубодовбальних верстатів. Основу більшості верстатів становлять масивні конструкції, які з часом не тільки не зношуються, та до того ж ще знімають в собі всі напруження, закладені на етапі виготовлення - це є основним джерелом ефекту модернізації. Крім модернізації та ремонтів механічної частини, змін підлягає і система управління обладнанням. Перелік металорізального обладнання з числовим програмним керуванням: токарні верстати, верстати фрезерні, свердлильні верстати, шліфувальні верстати, розточувальні верстати то що. Зазвичай проводяться наступні заходи щодо модернізації: установка сучасних приводів змінного струму (перетворювачів частоти, сервоприводів), установка програмного управління. Установка числового програмного керування дозволить підвищити технологічність обробки виробів, збі-

льшити продуктивність праці (один оператор може працювати на декількох верстатах з ЧПК), можливо навіть позбутися від механічних зв'язків подач розширивши діапазони роботи верстата (залежить від глибини модернізації). При неглибокій модернізації простих верстатів можна обійтися установкою системи автоматичного керування на базі програмованого логічного контролера. Зазвичай з установкою ЧПК ставлять сервопривод (спеціалізований привод з високими динамічними характеристиками і системою зворотного зв'язку, слідкуючий привод). Додатково можна встановити пристрій цифрової індикації (ПЦІ) якомога ближче до робочих органів, що дозволить оператору підтримувати більш точні параметри виробу. При цьому вихід в розмір може здійснюватися оператором вручну або від контролера (ЧПК) в автоматичному режимі, а додатковий сигнал зворотного зв'язку з ПЦІ може бути заведений в сервопривод або ЧПК для компенсації похибок механічних передач, за якими передається рух від двигунів до робочих органів верстата. Для управління верстатами широко застосовують системи, які значно скорочують час переналагодження, забезпечують високу точність і стабільність обробки.

Сервопривод

Селін Д.С., Устименко Д.В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Слово «серво» походить від латинського слова «servus», що перекладається як слуга, раб, помічник. У машинобудівних галузях сервоприводи традиційно виконували переважно допоміжну роль (приводи подач в верстатах, приводи роботів і т.п.). Тепер, коли автоматизація повністю охопила всі сфери машинобудування, домінуючі позиції зайняли електроприводи, і механіка машин сильно спростилася з використанням сучасних індивідуальних приводів замість центрального приводу.

Сервопривод – це система приводу, яка в широкому діапазоні регулювання швидкості забезпечує динамічні, високоточні процеси і забезпечує хорошу їх повторюваність. Ця система, призначена для відпрацювання моменту, швидкості і позиції із заданою точністю і динамікою. Класичний сервопривод складається з двигуна, датчика позиції і системи управління, що має три контури регулювання (по позиції, швидкості і струму).

Для сервоприводів характерні наступні показники:

- управління по швидкості, по моменту або по позиції;
- діапазон регулювання швидкості більше 1: 10000;
- статична точність підтримки швидкості по валу двигуна до 0,01%;
- точність підтримки позиції по валу двигуна;
- низька вага і компактні розміри.

Якщо ще зовсім недавно синхронні електродвигуни застосовувалися тільки в електроприводах великої потужності (у багатьох книгах економічно доцільною потужністю називається потужність в 100 кВт і вище), при відсутності необхідності регулювати частоту обертання і при тривалому режимі роботи, то в даний час ці, здавалися непорушними аксіоми, руйнуються як картковий будиночок. Зараз сучасні синхронні двигуни в складі сервоприводів можуть з успіхом використовуватися абсолютно у всіх областях.

Синхронні серводвигуни – це трифазні синхронні електродвигуни зі збудженням від постійних магнітів і датчиком положення ротора, в якості якого традиційно застосовуються фотоелектричні інкрементальні енкодери. Відмінна особливість синхронних серводвигунів – це висока вихідна потужність при будь-якій швидкості в поєднанні з невеликими розмірами. Їх основною перевагою є дуже низький момент інерції ротора щодо крутного моменту. Це дозволяє реалізувати дуже високу швидкодію. Час розгону на номінальну

частоту обертання за десятки мілісекунд і реверс з повною швидкістю в межах одного обороту вала двигуна.

В даний час синхронні двигуни дозволяють працювати в діапазоні моментів 0,5 - 100 Нм при швидкості обертання до 10000 об / хв. Всі ці якості синхронного двигуна зумовлюють застосування сервоприводів в промислових системах автоматики, роботах і маніпуляторах, приводах подач і головного руху металорізальних верстатів, координатних пристроях, намотувальних і стрічкопротяжних механізмах, прецизійних системах стеження і наведення, в авіаційній і медичній техніці.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ»

Дослідження параметрів швидкісних контактних підвісок Антонов А. В., Єфремова К. Р. (ДНУЗТ)	5
Особливості побудови високочастотних моделей тягових трансформаторів Бондар О.І., Передерій О.Г. (ДНУЗТ).....	6
Розробка методології підвищення надійності тягових агрегатів за рахунок застосування технічних засобів діагностування напівпровідникових приладів Гриценко І.В., Ляшук В.М. (ДНУЗТ)	7
Кондуктивні завади в системах електрифікованого транспорту Горенко Д.С., Мельничук Г.В. (НТУ КІП).....	8
Порівняння властивостей мікропроцесорних комплектів і швидкодіючих вимикачів для захисту фідерів контактної мережі постійного струму Данилов О.А., Сировець А.В. (ДНУЗТ)	9
Ранжування об'єктів по параметру електроспоживання для тягових підстанцій Денисюк С.П., Василенко В.І. (НТУ КІП)	10
Обмінні процеси в системах електрифікованого транспорту Денисюк С.П., Горенко Д.С. (НТУ КІП).....	11
Аналіз стану споживання електричної енергії на залізничному транспорті Друбецька Т.І., Федоренко О.О., Чичиль О.О., Скрипник О.А. (ДНУЗТ).....	12
Аналіз існуючих способів стикування електрифікованих ділянок Дьяков В. О., Звягінцев С. В. (ДНУЗТ)	13
Експериментальне визначення характеристик просторово-ромбовидної контактної підвіски Дьяков В. О., О.Ю. Сушко (ДНУЗТ)	14
Експериментальне визначення зони захисту блискавковідводів Дьяков В. О., Шевченко О. В. (ДНУЗТ).....	14
Дослідження ефективності застосування фотоелектричних джерел електроенергії в системах тягового електропостачання Євглевський І.В., Лавренюк О.С.,(ДНУЗТ)	15
Визначення ємності гібридного накопичувача електричної енергії Замаруєв В.В., Стисло Б.О. (НТУ ХПІ).....	16
Розширення терміну коефіцієнт потужності для систем постійного струму Замаруєв В.В., Стисло Б.О. (НТУ ХПІ).....	17
Моделювання впливу системи тягового електропостачання змінного струму на лінію два проводи-рейка Земський Д.Р. (ДНУЗТ).....	18
Аналіз децентралізованих способів підсилення системи тягового електропостачання постійного струму Г. О. Зюзь (ДНУЗТ)	20

Развитие автоматизированных систем мониторинга дислокации тягового подвижного состава на основе данных систем спутниковой навигации Иванов И.А., (ДНУЗТ)	21
Варіанти удосконалення схемотехніки підсилення тягової мережі постійного струму при впровадженні швидкісного руху Карпенко В.О., Ляшук В.М. (ДНУЗТ)	22
Дослідження енергетичної ефективності високошвидкісних ліній Карук О.О., Карук В.О., Кузнецов В.Г. (ДНУЗТ)	23
Варіанти удосконалення схемотехніки підсилення тягової мережі постійного струму при впровадженні швидкісного руху Коваленко І.В. (ДНУЗТ)	24
Математична модель розподіленої системи тягового електропостачання постійного струму Косарев Є. М. (ДНУЗТ)	25
Якість електричної енергії в системі тягового електропостачання постійного струму при підключенні до шин тягової підстанції сонячної електростанції Косарев Є. М., Холодняк Д. В. (ДНУЗТ)	26
Резерви енергозбереження за рахунок оптимізації графіка руху поїздів Кравцов А.В., Кузнецов В.Г. (ДНУЗТ)	27
Підвищення якості електроенергії в лініях ДПР Козіна І.Ю., Придаток В.С. (ДНУЗТ)	28
Аналіз сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з сонячними модулями Кугаєнко Ю.О., Полях О.М. (ДНУЗТ)	29
Підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій при впровадженні швидкісного руху Курочка О.М. (ДНУЗТ)	30
Методика визначення оптимального місця встановлення джерел розподіленого генерування в системах тягового електропостачання постійного струму Липський М. Г. (ДНУЗТ)	31
Сучасні підходи в організації автоматизованого обліку споживання енергоресурсів для побутових споживачів Мартиненко В.І. (ДНУЗТ)	32
Підвищення ефективності роботи власних потреб підстанцій при впровадженні швидкісного руху Матусевич О.О., Карпелянський А.Р. (ДНУЗТ)	33
Програмний комплекс діагностування технічного стану електричного обладнання тягових підстанцій Міронов Д.В. (ДНУЗТ)	34
Автоматизована система моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій Міронов Д.В., Громова Ю.М. (ДНУЗТ)	35
Підвищення електроенергетичної ефективності розподільчих мереж залізниці Міщенко А.В. (ДНУЗТ)	36

Геометричне подання реактивної потужності Міщенко Т.М, (ДНУЗТ).....	37
Оцінка потенціалу оптимізації рівнів нерівномірності споживання електроенергії в локальних системах електропостачання Опришко В.П., Доценко Д.І. (НТУ КПП)	37
Розробка енергозберігаючої технології промислових підприємств Пилипенко М.І. (ДНУЗТ).....	38
Оптимізація споживаної електроенергії при застосуванні нетрадиційних джерел живлення Полях О.М., Сущенко К.Б. (ДНУЗТ).....	39
Оцінювання значень температури масла силових трансформаторів в системах діагностування із використанням уточнених теплових моделей Притискач І.В., Яременко А.Г. (НТУ КПП)	40
Проблема стійкості системи тягового електропостачання за напругою при впровадженні високошвидкісного руху Рогоза А.В. (ДНУЗТ).....	41
Особенности организации каналов передачи данных для цифрового слоя городской распределительной сети Саенко Ю.Л., Дьяченко М.Д. (ГВУЗ ПГТУ).....	42
Оптимизация режимов реактивной мощности при помощи нейронных сетей и методов градиентного приближения Саенко Ю.Л., Любарцев В.В. (ГВУЗ ПГТУ).....	44
Огляд сучасного програмного забезпечення для моделювання та розрахунку тягових мереж Саломатова О.В. (ДНУЗТ).....	44
Якість електроенергії на шинах тягових підстанцій при паралельній роботі з сонячною та вітровою електростанціями Сиченко В.Г., Хімоненко В.Г. (ДНУЗТ), Пулін М.М. (Львівська залізниця).....	47
Розробка енергоефективної технології перевізного процесу при сумісній роботі системи централізованого тягового електропостачання та системи розподілених альтернативних джерел електроенергії Сиченко В.Г., Кузнецов В.Г., Вернигора Р.В., Огороков А.М., Папахов О.Ю., Логвінова Н.О. (ДНУЗТ).....	47
Несимметрична система підсилення тягової мережі постійного струму Сиченко В.Г., Рогоза А.В., Шмиголь Д.О.. (ДНУЗТ), Пулін М.М. (Львівська залізниця)...	48
Адаптивные процедуры корректировки режимных карт вождения грузовых поездов с использованием данных систем спутниковой навигации Скалозуб В.В., Иванов А.П., Иванов И.А., (ДНУЗТ).....	49
Алгоритм контролю втрат електроенергії, що враховує імовірнісний характер руху поїздів Скрипник О.А., Друбецька Т.І. (ДНУЗТ).....	50
Інтелектуальна система балансування рівнів напруги на послідовно з'єднаних накопичувачах акумуляторної підстанції Стисло Б.О., Васильєв М.А. (НТУ ХП).....	51

Ефективність використання енергії рекуперації у системах тягового електропостачання та шляхи її використання Стороженко А.С. (ДНУЗТ)	52
Енергоефективність розподільчих мереж в умовах реформування енергоринку України Ткач О. В. (ПАТ Укрзалізниця).....	53
Дослідження застосування теплових насосів в енергетиці Турчин О.В., Ляшук В. М. (ДНУЗТ).....	54
Перспективи застосування накопичувачів електроенергії в енергетиці Тюрін М. В. (ДНУЗТ).....	56
Аналіз стану споживання електричної енергії на залізничному транспорті Федоренко О.О., Друбецька Т.І. (ДНУЗТ)	57
Напрямки поліпшення якості та ефективності перетворення електричної енергії тяговими підстанціями постійного та змінного струму Хоменко В.Р. (ДНУЗТ).....	58
Методологія удосконалення режиму напруги в тяговій мережі при підвищенні швидкості руху Чернишенко О.О., Ляшук В.М. (ДНУЗТ).....	59
Система контролю достовірності обліку електричної енергії в мережах районів електропостачання Чичиль О.О., Друбецька Т.І. (ДНУЗТ)	60
Пристрої і технології обмеження струмів короткого замикання в електричній мережі Шмиголь Д. О. (ДНУЗТ).....	61

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

Нейромережеві моделі, як засіб прогнозування зношування сильнострумового контакту Антонов А. В. (ДНУЗТ)	63
Визначення потужності швидкісного електрорухомого складу для залізниць України Арпуль С. В. (ДНУЗТ).....	64
Импульсное регулирование напряжения и степени ослабления поля тяговых двигателей электроподвижного состава Афанасов А.М., Мясников А.С., Бородулин К.Т. (ДНУЗТ).....	65
Повышение энергетической эффективности приемо-сдаточных испытаний электрических машин тягового и моторвагонного подвижного состава Афанасов А.М., Шаповалов А.С. (ДНУЗТ)	66
Перевод электропоезда ЕПЛ2Т на импульсное регулирование Белухин Д. С., Петров А. Д. (ДНУЗТ).....	67
Модернизация вспомогательных электроприводов электровозов переменного тока Белухин Д. С., Мартиняк А. О. (ДНУЗТ).....	68
Підходи до вибору технологічних складових системи прискореної доставки вантажів Бех П.В., Лашков О.В. (ДНУЗТ)	69

Енергоефективність перевізного процесу в освітніх програмах підготовки студентів за спеціальністю Транспортні технології	
Вернигора Р. В., О कोरोков А. М., Березовий М. І. (ДНУЗТ)	70
Перспективи розвитку мультимодальних перевезень в Україні	
Вернигора Р. В., О कोरोков А. М., Цупров П. С. (ДНУЗТ)	72
Вплив електрокорозії на підземні спорудження та основні методи боротьби з нею	
Власенко В. В. (ДНУЗТ)	74
До визначення еквівалентного ухилу залізничних колій кар'єрів	
Г. К. Гетьман, В. Є. Васильєв. (ДНУЗТ)	74
Експериментальні випробування електровоза ВЛ11М, обладнаного системою захисту від боксування HQ.320100.000	
Гетьман Г. К., Михед В. В., Бабяк М. О., Друбецький А. Ю., Забарилло Д. О. (ДНУЗТ)	75
Модернізація електрорухомого складу постійного струму	
Забарилло Д. О., Марікуца С. Л. (ДНУЗТ), Галіузова А. М. (НметАУ)	76
Динамічні властивості тягового електропривода постійного струму	
Карабут Ю.О., Кедря М.М. (ДНУЗТ)	77
Перспективи використання приватного тягового рухомого складу на магістральних залізницях	
Козаченко Д.М., Вернигора Р. В., Березовий М. І. (ДНУЗТ)	78
Алгоритми широтно-імпульсної модуляції в однофазному тяговому перетворювачі на повністю керованих вентилях	
Краснов О. О., Божко В. В. (Харківське відділення філії ПВІЗТ ПАТ УЗ).....	80
Інноваційні транспортні засоби та технології: сонячно-енергетичний аспект	
Колесников С.Р. (ДНУЗТ)	81
Підвищення техніко-економічних показників підприємств засобами електропривода	
Кухар П. Ю., Краснов Р. В. (ДНУЗТ)	83
Розподіл вагонів під навантаження в умовах реструктуризації	
Логвінова Н.О. (ДНУЗТ).....	84
Апроксимація універсальної магнітної характеристики колекторних тягових двигунів тригонометричним рядом Фур'є	
Марікуца С.Л., Забарилло Д.О. (ДНУЗТ).....	85
Результати експлуатації швидкісних електропоїздів на залізницях України	
Михайленко Ю.В., Байбара О.О., Генсировський Є.О.	86
Комп'ютерне моделювання режимів підвищеної частоти тягового трансформатора	
Муха А.М., Бондар О.І., Устименко Д.В., Куриленко О.Я. (ДНУЗТ)	87
Опираие экипажей maglev с электродинамической левитацией на низких скоростях	
Новиков В.Ф. (ИТСТ НАН Украины Трансмаг)	87
Контактно-аккумуляторный электровоз	
Новиков В.Ф., Зайцев Н.Н. (ИТСТ НАН Украины Трансмаг).....	88
Оборот вагону в нових умовах	
Папахов О. Ю. (ДНУЗТ)	89

Визначення оптимальних режимів роботи тягового асинхронного приводу електро- рухомого складу	
Петренко О.М. (ХНУМГ), Любарський Б.Г. (НТУ ХП).....	90
Модернізація електрообладнання	
Селін Д.С., Устименко Д.В. (ДНУЗТ)	91
Сервопривод	
Селін Д.С., Устименко Д.В. (ДНУЗТ)	92