

**Энергосбережение на железнодорожном транспорте и в промышленности:** Материалы IV Международной научно-практической конференции (Воловец, 11 июня – 14 июня 2013 г.) – Д.: ДНУЖТ, 2013. – 90 с.

В сборнике представлены материалы IV Международной научно-практической конференции «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ», которая состоялась 11 июня – 14 июня 2013 г в пгт. Воловец, Закарпатской обл.

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

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Мямлин С. В. - д.т.н., профессор (ДИИТ, Украина) - заместитель председателя

Сыченко В.Г. – д.т.н., доцент (ДИИТ, Украина) - заместитель председателя

Габринец В.А - д.т.н., профессор (ДИИТ, Украина) - заместитель председателя

Кузнецов В.Г. - д.т.н., доцент (ДИИТ, Украина) - член научного комитета

Адрес редакционной коллегии:

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

Материалы в сборнике печатаются на языке оригинала в редакции авторов.

## **Компенсатори реактивної потужності на базі транзисторного перетворювача з підвищеними регульованими властивостями коефіцієнту потужності**

Абрамчук А.К., Ляшук В. М., (ДНУЗТ)

Всі індукційні (електромагнітні) машини та пристрої, що працюють у складі систем змінного струму, перетворюють електричну енергію, яка постачається від генераторів енергосистеми, в механічну роботу та тепло. Для здійснення такого перетворення необхідне утворення магнітних полів в машинах, і ці поля пов'язані з іншою формою енергії – «реактивною» енергією, яка забезпечується енергосистемою або іншими додатковими джерелами.

Реактивна потужність характеризується затримкою (у індуктивних елементах струм по фазі відстає від напруги) між синусоїдами фаз напруги і струму мережі. Показником споживання реактивної потужності є коефіцієнт потужності, чисельно рівний косинусу кута між струмом і напругою. Коефіцієнт потужності навантаження, задається відношенням активної потужності до повної потужності в заданий момент часу. Тобто для підвищення коефіцієнту потужності системи чи установки одним із варіантів є зменшення споживання реактивної потужності, а точніше компенсація реактивної потужності. Передача реактивної потужності по всій мережі від електростанції до споживачів призводить до додаткових навантажень на устаткування електричних мереж, ростуть втрати активної потужності та знижується напруга на шинах навантаження.

. Дія всіх компенсуючих пристроїв заснована на тому, що на ділянці ланцюга з індуктивним або ємнісним навантаженням встановлюється додаткове джерело реактивної потужності, таким чином, відбувається обмін потоками енергії між цим джерелом і пристроєм на невеликій ділянці ланцюга, не проходячи по основних мережах і, отже, не викликаючи в них негативних наслідків.

Таким чином використання конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності дозволяє: розвантажити живлячі лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої; понизити витрати на оплату електроенергії; при використанні визначеного типу установок понизити рівень вищих гармонік; подавити мереживі перешкоди, понизити несиметрію фаз; зробити розподільні мережі надійнішими та економічнішими.

Численне сучасне устаткування промислових і комерційних технологій, використовуване в широкому діапазоні потужностей, вимагає трифазного живлення змінного струму з необхідною амплітудою і частотою. Останніми роками у зв'язку із значним прогресом в створенні швидкодіючих силових напівпровідникових приладів намітилася тенденція до створення більш довершених топологій компенсуючих пристроїв.

Метою роботи є розробка на підставі сучасних структур транзисторних перетворювачів, в якій відсутнє подвійне перетворення енергії, присутні фільтри вищих гармонік і система була не витратною. Ідея роботи полягає у використанні імпульсного транзисторного перетворювача для плавної зміни споживання реактивної потужності.

До цього часу не існувало елементної бази для того, щоб винайти пристрій, який здатний витримати достаньо високу напругу і при цьому залишитись швидкодіючим та легко керованим. Світові лідери з виготовлення силової комутаційної апаратури пішли далеко в цьому напрямку. З'явилися високовольтні керовані транзистори відомі під назвою IGBT, а також керовані тиристори IGCT, які є нащадками закриваючих тиристорів

GTO. Робоча напруга цих елементів досягла 6.5 кВ при достатньо високих струмах до 2000 А та швидкості їх спрацювання: для IGBT - 10МГц, GTO та IGCT – 1 МГц.

Компенсація полягає у тому, що пристрій підвищення коефіцієнту потужності передбачає регулювання значенням еквівалентної ємності шляхом частотно-імпульсної модуляції підключеного та відключеного стану конденсаторної батареї відносно мережі з урахуванням поточного відхилення коефіцієнту форми напруги та кута зрушення фази струму відносно заданих значень по кожній фазі мережі. В системі контролюється напруга та струм мережі та струм навантаження. Здається значення коефіцієнта потужності та коефіцієнта форми напруги за кожною фазою мережі. На основі отриманої інформації про поточні значення струму та напруги, визначається фазовий зсув та коефіцієнт форми напруги у фазах мережі. Поточне значення коефіцієнта потужності та коефіцієнта форми порівнюється з заданими максимальними значеннями. Розраховується відхилення кожного параметру від заданого значення. Змінюється частота модуляції підключеного та відключеного стану конденсаторної батареї. У разі перевищення поточного значення коефіцієнту потужності та коефіцієнту форми над заданими значеннями, системою керування видається повідомлення про неможливість компенсації реактивної потужності.

Застосування пристрою призводить до зміни режиму роботи електроенергетичної системи. В результаті роботи пристрою підвищується коефіцієнт потужності та коефіцієнт форми напруги, система компенсує реактивну потужність та потужність спотворення, що призводить до:

- зменшення втрат активної потужності в системі електропостачання;
- проводиться компенсація неактивної (реактивної потужності та потужності спотворень) складової повної потужності;
- поліпшуються показники якості електроенергії.

Напрямок подальших досліджень полягає у подальшому розвитку методів регулювання реактивної потужності електричних споживачів.

### **Выбор параметров номинального режима электроподвижного состава**

Арпуть С.В., Сильковский А.С., Рукин А.Н., (ДНУЖТ)

Проблема обновления пассажирского тягового подвижного состава железных дорог Украины в нынешнее время приобрела первоочередное значение. По данным Укрзалізнички на сегодня износ парка пассажирских электропоездов составляет 90 %, а до 2015 года из инвентарного парка необходимо изъять около 95 % электропоездов серии ЧС2 и 75 % серии ЧС4 у которых закончился уже продленный до 45 лет срок службы.

В связи с этим перед Укрзалізничкой возникает задача по выбору параметров перспективных электропоездов, использование которых обеспечит высокие значения показателей эксплуатационной работы.

Решение задач тягового обеспечения базируется на результатах выполнения тяговых расчетов в связи, с чем возникает необходимость в разработке методики определения управляющих параметров уравнения движения поезда при неизвестных характеристиках электропоезда.

Предлагается подход к определению тяговых характеристик пассажирских электропоездов с коллекторным и асинхронным тяговым приводом, а также подход к определению рациональных параметров электропоездов. В качестве критериев

рациональности параметров используются время движения поезда и расход электрической энергии.

## **Використання активних споживачів з метою зменшення навантаження на електричні мережі**

Базюк Т.М., аспірант, Золотоверха І.В., магістрант, ІЕЕ НТУУ «КПІ»

На сьогоднішній день в енергетичній галузі відбувається трансформація, яка набуває глобального характеру, та призведе до суттєвих змін в енергетиці. В останнє десятиліття в світі спостерігається зростаючий інтерес до інноваційно-технологічної інтелектуальної системи електропостачання на базі нової концепції, яка за кордоном отримала назву Smart Grid.

У рамках даної концепції різноманітність вимог усіх зацікавлених сторін (держави, споживачів, регуляторів, енергетичних компаній, компаній, збутових і комунальних організацій, власників, виробників обладнання та ін.) зводиться до групи ключових вимог (цінностей) нової електроенергетики, сформульованих як: доступність, надійність, економічність, ефективність, екологічність і безпека. Новітні технології дозволяють по-новому підходити до побудови електричних мереж, переходячи від жорсткої структури «генерація - мережа - споживач» до більш гнучкої, в якій кожен вузол мережі може бути активним елементом.

Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи (ІЕС) є мотивація активної поведінки кінцевого споживача, під якою розуміється забезпечення можливості самостійної зміни споживачами обсягу і функціональних властивостей (рівня надійності, якості і т.д.) одержуваної електроенергії на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про характеристики цін, обсяги поставок електроенергії, надійності тощо.

Концепція ІЕС націлена на реалізацію активної стратегії споживача, тобто стимулює споживачів до участі в регулюванні власного навантаження, перенесення споживання на непікові години та використання власної генерації, як для забезпечення власних потреб, так і для продажу електроенергії в мережу. Отже, активним споживачем є учасник споживчого ринку електроенергії, який має можливість виходячи зі своїх потреб оптимізувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електроенергії та потужності.

В даний час в українській системі електроенергетичних ринків механізми та мотиваційні інструменти «активізації» споживача до оптимізації функціонування ОЕС України розвинені недостатньо. Актуальним є розробка нормативно-методичного та алгоритмічного забезпечення ефективно сумісної роботи генераторів електричної енергії (як централізованої, так і розосереджених джерел) та споживача, який має власні генеруючі потужності.

Впровадження активного споживача в об'єднану енергосистему України (ОЕС) дозволить:

- частково вирішити проблеми нерівномірного попиту споживачів;
- зменшити навантаження на електричні мережі;
- зменшити перетоки електроенергії в мережах;
- продовжити термін експлуатації існуючих мереж.

Встановлені власні генеруючі потужності споживачів, на даному етапі можна використовувати з метою оптимізації графіків споживання та зменшення навантажень на

існуючі мережі, а в перспективі, їх можна об'єднати в віртуальні електростанції, які будуть досить важливою складовою до інтелектуальної енергетичної системи.

### **Застосування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання**

Базюк Т.М., аспірант, Чернуха Ю.М., магістр, ІЕЕ НТУУ «КПІ»

Для оцінки впливу інтеграції розосередженої генерації (РГ) і нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) на роботу системи енергопостачання звернемося до показників ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів з наказу НАЕР № 35 від 13.03.08 «Про запровадження системи показників ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів». В наказі виділено основні (3 шт.), допоміжні (10 шт.) та показники за якими розраховують основні та допоміжні показники (42 шт.). Оскільки основні та допоміжні показники актуальні тільки на рівні регіону, а РГ та НВДЕ можуть бути інтегровані на будь-якому рівні, то з метою більш детальної оцінки пропонуємо скористатися переліком показників енергоефективності за якими розраховуються основні та допоміжні показники. Аналіз даних показників допоможе нам більш детально оцінити ефективність системної інтеграції РГ та НВДЕ.

Оцінку впливу інтеграції РГ та НВДЕ на систему енергопостачання доцільно проводити з енерготехнологічної точки зору. В зв'язку з цим, із визначеного переліку показників було вилючено економічні та додано декілька нових енерготехнологічних показників енергоефективності, які стосуються саме РГ та НВДЕ.

Для спрощення аналізу досліджуваних систем, виконаємо розподіл показників енергоефективності за п'ятьма рівнями: регіон, промисловий вузол/громада, підприємство/організація, дільниця/технологія, обладнання/пристрій). Такий розподіл показників за масштабом розгляду системи дозволить виключити ті, які на відповідному рівні не доцільно розглядати. Також, для зручності проведення подальших оцінок відзначимо бажані напрями зміни по кожному із цих показників.

Оцінку впливу інтеграції РГ та НВДЕ на систему енергопостачання пропонуємо проводити за наступним алгоритмом:

1. Обираємо рівень, на якому ми будемо аналізувати показники енергоефективності;
2. З відповідного переліку показників обираємо ті, на які має вплив інтеграція в енергосистему РГ та НВДЕ;
3. Обчислюємо значення показників до і після змін в енергосистемі;
4. Порівнюючи відповідні показники за допомогою напряму бажаного збільшення ефективності визначаємо в позитивну чи негативну сторону пройшли зміни. Також розраховуємо величину, зміни показників в ту чи іншу сторону.

Для вибору найбільш ефективного джерела енергії доцільно виконати такі дії:

1. Обираємо декілька варіантів систем електропостачання (на основі різних джерел енергії);
2. Обираємо рівень, на якому слід проаналізувати показники енергоефективності;
3. З відповідного переліку показників обираємо ті, які відображають вплив джерел РГ та НВДЕ на енергосистему;
4. Обчислюємо відібрані показники для вибраних джерел енергії.
5. Порівнявши показники за напрямом бажаного збільшення визначаємо найбільш ефективне джерело енергії для вибраного.

## **Анализ аварийных режимов работы преобразователей электроэнергии в программной среде PLECS**

Баранюк Р.А., Тодоренко В.А., Тюрютиков А.И., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

В работе рассмотрено влияние температурных режимов работы элементов понижающего широтно-импульсного преобразователя на возможность возникновения аварийных режимов работы.

При расчете преобразовательных устройств обычно отдельно рассматриваются переходные электромагнитные режимы работы и тепловые режимы. Причем тепловые режимы работы рассчитывают в установившихся режимах работы преобразователей. В ряде случаев такой подход может приводить к неверной оценке возможности возникновения аварийных режимов работы. В случае колебательного характера электромагнитных процессов возможно возникновение аварийных всплесков температуры в активных элементах преобразователей.

В работе проведена классификация возможных переходных электротепловых режимов работы преобразователей. Выделены следующие типы переходных электротепловых режимов:

- быстрые режимы, связанные с нагревом кристаллов полупроводниковых компонентов;
- медленные режимы, связанные с разогревом корпусов полупроводниковых компонентов;
- медленные режимы, связанные с тепловым изменением параметров пассивных компонентов.

Рассмотрены тепловые модели активных элементов широтно-импульсного преобразователя, а также их характеристики снижения электрических режимов работы.

В программной среде PLECS Standalone v.3.3.5 фирмы Plexim составлена модель широтно-импульсного преобразователя понижающего типа, в которой учтены тепловые модели диода и транзистора.

На первом этапе исследовались быстрые переходные процессы, связанные с перегревом кристаллов полупроводниковых компонентов. Наиболее тяжелые режимы их эксплуатации характерны для циклической работы преобразователя. При этом температура приборов повышается до рабочего установившегося значения. На фоне этой температуры формируются всплески температуры кристаллов при последующих включениях преобразователей, либо скачкообразном повышении их нагрузки. При колебательном характере электромагнитных процессов температура кристаллов может достигать предельных допустимых режимов, что может приводить к выходу полупроводниковых компонентов из строя.

Проведенные исследования показали необходимость выбора компонентов силовых преобразовательных устройств на основании совмещенных расчетов переходных электрических и тепловых режимов работы.

## **Экспериментальные исследования тепловых режимов работы тепло-электро-аккумуляторов**

Белименко С.С., Ищенко В.А., ООО «Теплотехника», ДНУЗТ

Эффективное использования энергии является одной из важных задач в общей проблеме энергосбережения. Известно, что невозможность регулирования процесса

выработки электроэнергии по времени суток приводит к существенным её потерям. В тех случаях, когда электроэнергия используется для отопления, возможность рационального её расходования предоставляют тепло-электро-аккумуляторы. За счет электрического нагрева теплоаккумулирующего тела в ночное время, этот процесс называется зарядкой аккумулятора, происходит накопление тепла, которое в дневное время выделяется, т.е. происходит его разрядка, и обогревает помещение, где он установлен. При массовом применении таких аккумуляторов в домах индивидуального отопления, на железнодорожном транспорте и других отраслях народного хозяйства, можно существенно снизить потери электроэнергии.

Накопления тепла обусловлено сложными процессами теплообмена между нагревающими элементами аккумулятора и теплоаккумулирующим телом. Исследование этих процессов осуществлялось на тепловых аккумуляторах различной мощности с использованием специализированного обеспечения фирмы Testo2.3.10.09.2009, которое позволило получить не только термограммы, но и выполнить статистическую обработку результатов экспериментов.

Экспериментальные результаты замера температур при заряде аккумулятора в различных точках теплоаккумулирующего тела показали существенную температурную неравномерность, под которой понимается отклонение температуры в точке замера по отношению к средней температуре теплоаккумулирующего тела в фиксированный момент времени. С увеличением мощности аккумулятора температурная неравномерность увеличивается. Из экспериментальных данных следует, что до температуры 4000С температурная неравномерность максимальная и может достигать 30-40%. При достижении температуры теплоаккумулирующего тела порядка 4000С температурная неравномерность уменьшается до 3-5%. Влияние обдува при заряде аккумулятора незначительное.

Температурная неравномерность теплового аккумулятора по объему, поверхности и температурному профилю значительна, необходимо учитывать при расчете емкости и массы теплоаккумулирующего тела.

Экспериментальные данные температурных полей при разряде тепловых аккумуляторов показывают, что температурная неравномерность теплового поля несколько ниже, чем при заряде и существенно снижается при саморазряде.

Опасность температурной неравномерности заключается в том, что она приводит к появлению значительных температурных напряжений и больших температурных деформаций. Эта особенность заставляет с особой тщательностью подходить к проектированию основных рабочих элементов тепловых аккумуляторов.

Анализ экспериментальных данных показывает, что соотношение накопленного количества теплоты и электрической мощности находится в пределах 60-90%. Это обстоятельство позволяет при использовании ночного тарифа зарядить тепловой аккумулятор до полной емкости и разрядить его на 70-80%

Полученные экспериментальные данные позволили уточнить процессы теплообмена в рабочих каналах аккумулятора при зарядке и разрядке и на этой основе разработать научные подходы к проектированию тепло-электро-аккумуляторов заданной мощности, массовое внедрение которых позволит эффективно использовать электроэнергию.

## **Перспективи розвитку інфраструктури для високошвидкісного руху поїздів в Україні**

Божко В. В., к.т.н., Гордієнко Д. О., магістр, Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України (ДНДЦ УЗ), Харківська філія

На сьогоднішній день стає актуальним питання щодо розвитку високошвидкісного залізничного сполучення, однак для забезпечення даного виду сполучення в Україні з'являється проблема з розвитком інфраструктури. Будівництво високошвидкісних магістралей (ВШМ) в Україні можливо проводити за трьома основними концепціями, які склалися за кордоном:

- японська і іспанська концепції передбачають будівництво ВШМ, що повністю ізольовані від решти залізничних мереж країни;
- французька концепція передбачає будівництво ВШМ, які входять в загальний склад залізничної мережі, але призначених виключно для високошвидкісного рухомого складу;
- італійська і німецька концепції полягають в комплексній реконструкції і модернізації існуючих ліній для організації високошвидкісного руху.

Зважаючи на особливості розвитку залізниць України та їх завантаженість вантажними та приміськими поїздами, для забезпечення руху пасажирських потягів зі швидкістю до 200 км/год необхідна модернізація існуючих ліній а при швидкостях руху вище за 200 км/год доцільним варіантом є будівництво виділеної лінії з використанням існуючих вокзальних комплексів на проміжних та кінцевих станціях.

Будівництво колії ВШМ можливо виконувати як на плитній основі (Японія, Німеччина), так і на шпально-баластній основі (Франція). З урахуванням зарубіжного досвіду та топографічні умови України, найбільш перспективним варіантом є застосування баластної основи колії на земляному полотні з використанням сучасних технологій ущільнення ґрунтів.

Систему тягового електропостачання ВШМ пропонується виконуватися на змінному струмі. В залежності від потужності електрорухомого складу та інтенсивності руху поїздів, можливі наступні варіанти електропостачання за системою змінного струму:

- 25 кВ;
- 25 кВ з екрануючим і підсилюючим проводом;
- 2×25 кВ.

У якості базової для високошвидкісного руху рекомендується вертикальна ланцюгова компенсована ресорна контактна підвіска з підвищеним натягом контактного проводу і несучого тросу.

Для забезпечення надійного регулювання руху поїздів на ВШМ необхідно впровадження систем автоматичної локомотивної сигналізації з використанням радіоканалу для визначення місцезнаходження поїзду. В якості таких систем можуть бути використана система ETCS другого покоління, яка замінює традиційну систему світлофорної сигналізації із збереженням розділення лінії на блок-ділянки.

Для систем зв'язку, на заміну існуючим аналоговим мережам сімплесного радіозв'язку гектометрового діапазону і метрового діапазону, пропонується впроваджувати цифрові системи радіозв'язку, які можуть забезпечувати поїздовий радіозв'язок при найбільших допустимих швидкостях руху. Найбільш перспективним варіантом для забезпечення потреб у радіозв'язку ВШМ є застосування системи зв'язку GSM-R. Дана система заснована на відкритих стандартах і відрізняється високою сумісністю обладнання від різних виробників. Обладнання GSM-R сумісне з базовими



станціями традиційного GSM, і існує технічна можливість використання традиційних операторів GSM для надання роумінгу в їх мережах там, де відсутнє покриття GSM-R.

### **Дослідження ступінчастої компенсації реактивної потужності на фізичному макеті**

Босий Д. О., Дем'яненко А. С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На сьогоднішній день проблема компенсації реактивної потужності є основною при енергопостачанні промислових підприємств. Це викликано тим, що підприємства споживають енергію не рівномірно протягом доби, а піки навантаження можуть бути непередбачуваними. Отже маємо наступну задачу – необхідно своєчасно компенсувати динамічне навантаження споживача, який споживає енергію нерівномірно у часі. Компенсація динамічного навантаження ускладнюється непередбачуваністю його піків. Таким чином виникає потреба моніторингу енергосистеми у реальному часі.

В загальному випадку системи компенсації налаштовують на відповідні рівні навантаження і вмикають при досягненні споживачем цього рівня. Але при такому режимі компенсації у проміжку між рівнями ми можемо мати недокомпенсацію або перекомпенсацію. За таким принципом побудовані системи компенсації старого зразка. Такі системи мають фіксовані значення ступенів конденсаторів, і не мають можливості стеження за станом обладнання.

В наш час існують інтелектуальні системи моніторингу та компенсації реактивної потужності. Такі системи проводять виміри споживання реактивної енергії у реальному часі і підключають необхідні ступені конденсаторів саме тоді коли це є найефективніше. Деякі сучасні інтелектуальні системи (наприклад Еrcos MC7000-3) мають змогу контролювати час роботи окремого конденсатора, тим самим створюються умови рівномірного зносу обладнання. Такі системи підключаються безпосередньо на виводи силового трансформатора по стороні 0,4 кВ, а ланцюги керування та вимірювання підключаються до відповідних трансформаторів струму та напруги, що встановленні на вводах трансформатора первинної напруги 6-10 кВ.

Метою цієї роботи є наочно показати та дослідити роботу і принципи дії інтелектуальних систем компенсації. Основні особливості роботи таких систем відображені на фізичному макеті. Макет, як і реальна система, працює у ручному та автоматичному режимах. Для перемикання режимів та керування ступенями в ручному режимі передбачено окремі ланцюги керування. Також на макеті наявні засоби світлової індикації. Таким чином обслуговуючий персонал в будь-який момент часу може спостерігати за станом системи на передній панелі. На панелі змонтовані кнопки ручного вмикання / вимикання ступеней конденсаторів, світлові лампи котрі відображають стан ступені (вимкнено / увімкнено), та перемикач режимів роботи (ручне управління / автоматичне управління). В якості інтелектуальної частини в макеті використовується аналізатор Satес. Саме аналізатор проводить виміри стану енергосистеми у реальному часі і формує відповідні керуючі впливи. Ці дані оброблюються згідно завчасно розробленого алгоритму. Алгоритм будується на основі профілю навантаження, і направлений на зниження грошових витрат. Тим самим, отримуємо систему котра зорієнтована на економію електроенергії шляхом компенсації реактивної потужності. Сучасні аналізатори здатні вимірювати та орієнтуватись у керуванні наступними параметрами:

- напруги, струми і частота;
- активна, реактивна потужність, коефіцієнт потужності;

- активна, реактивна та повна енергія;
- гармоніки напруги та струму, коефіцієнти спотворення напруги і струму.

## **Генерирование радиотехнических помех на стыке токоприемник – контактный провод**

Бялонь А. к.т.н., Институт Железнодорожного Транспорта Варшава

### Введение.

Типичным примером подвижного скользящего контакта неразъемного типа является взаимодействие накладок вставки с контактным проводом в токоприемнике. Взаимодействие стыковых поверхностей происходит с участием внешнего трения вследствие выступления прижимающей нормальной силы и стыковой силы вызывающей перемещение поверхностей друг к другу. В трении принимают участие поверхностные, подповерхностные слои и среда в которой происходит трение.

Реальная стыковость элементов трения не выступает на всей геометрической поверхности, но на очень малых участках, переносящих всю нагрузку. Во время перемещения скользуна вдоль контактного провода, вследствие прижимающей силы происходит раздавливание неравносителей и возникают микроповерхности механического контакта, которые размещены случайно и одновременно будучи элементарными электрическими контактами.

Соприкасающиеся поверхности, создающие подвижной скользящий контакт характеризуют два свойства при учете пропускной работы контакта т.е. микропористость и выступание тонких слоев, электрическую дугу.

В скользящем контакте, какой создают перемещающиеся накладки скользуна токоприемника вдоль контактного провода, выступает много, связанных друг с другом, явлений: электрических, термических, структурных и физикохимических в материале.

Даже при очень внимательной подготовке поверхностей реальная поверхность контакта составляет лишь небольшую часть кажущейся поверхности контакта через которую протекает электрический ток. Поэтому от качества работы скользящего контакта зависит уровень генерируемых радиотехнических помех.

### Протекание тока через скользящий контакт.

Электрический ток проводится случайно размещенными микроповерхностями контакта, которые создают контактное сопротивление, состоящие из сопротивления вида или сужения  $R_k$  а также сопротивление слоя налета  $R_n$ . Сопротивление вида вызвано уплотнением струи тока вследствие сужения действующего разреза на стыковых микроповерхностях. Сопротивление слоя налета вызвано наличием чужих слоев на поверхности стыка. Значение сопротивления  $R_n$  зависит от толщины слоя абсорбции и коррозионного слоя (емкостной), содержащей соединения например меди с газом окружающей атмосферы. Контактная сеть и устаревшие типы вставок токоприемников подвержены воздействию многих факторов повышающих сопротивление прохода из-за увеличения слоя налета. Очень хорошие смазочные свойства проявляет графит благодаря большей адгезии в материал основы. Общим свойством всех графитовых смазок является увеличение сопротивления прохода из-за большего сопротивления графита по сравнению с медью. Поэтому в настоящее время используют вставки из порошкообразной меди.

Анализ работы скользящего контакта наиболее удобно проводить на дискретной модели сопротивления контакта, которая в общем случае состоит из пространственной

сети сопротивлений, имитирующей конечное число элементарных контактов. Схема структуры дискретной модели скользящего контакта приведена на рисунке 1.

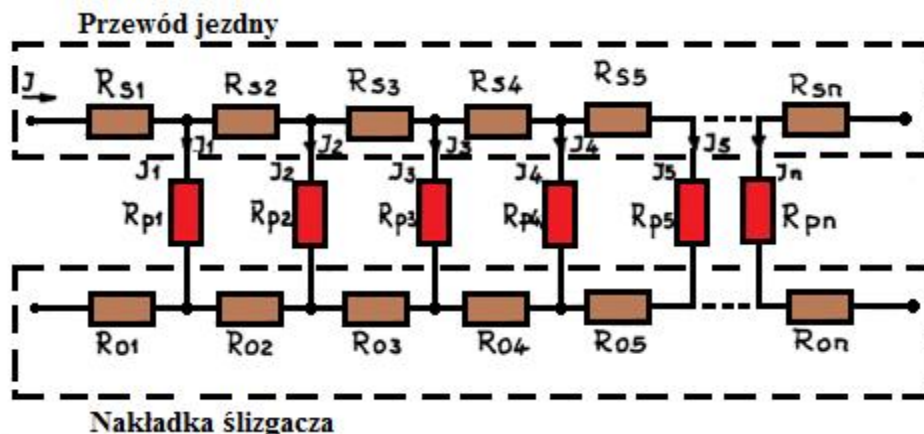


Рис.1.Схема дискретной модели сопротивлений контакта

где:

$R_{s1} \div R_{sn}$  – элементарные сопротивления для участка контактного провода создающего мнимую геометрическую поверхность со вставкой токоприемника,

$R_{p1} \div R_{pn}$  – сопротивления контактов отвечающее конечному числу элементарных контактов между контактным проводом и накладкой полоза,

$R_{o1} \div R_{on}$  – элементарные сопротивления накладки полоза,

$I_1 \div I_n$  – токи протекающие по элементарным сопротивлениям контакта. Сума токов выражается формулой (1):

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_n = I \quad (1)$$

Для упрощения выбрана модель стыкового соединения одного контактного провода и одной стыковой накладки, описанного в одном геометрическом размере. Ток протекающий через скользящий контакт является сумой всех элементарных токов протекающих отдельными микроповерхностями стыка.

Выполнено условие:

$$R_{si} < R_{pi} \quad \text{и} \quad R_{oi} < R_{pi}$$

Число микроповерхностей стыка, которым присовены сопротивления  $R_{pi}$  по  $R_{pn}$  зависят от твердости материала и значения силы прижима в контакте. Элементарные сопротивления  $R_{pi}$  по  $R_{pn}$ , микроповерхности стыка расположенные случайно, как правило не одинаковой поверхности, создавшихся вследствие воздействия силы. Ввиду этого создавшиеся микроповерхности стыка не обладают одинаковым сопротивлением. Протекающие через них токи не имеют одинакового значения т.е.:  $I_1 \neq I_2 \neq \dots \neq I_n$

Рост значения тока протекающего в целом контакте вызывает рост токов протекающих через отдельные сопротивления  $R_{p1} \dots R_{pn}$ . При слишком плотных токах протекающих через некоторые элементарные контакты, наступает рост температуры, который вызовет рост удельного сопротивления материала, и тем самым рост элементарного сопротивления контакта, временно изменяя режим распределения токов. Это свойственно для диапазона температур, которые не вызывают плавление материалов, потому что тогда изменяется микроповерхность стыка и сопротивление уменьшается.

В условиях динамической работы скользящего контакта как например во время взаимодействия токоприемника с контактной сетью возникает вибрация токоприемника по вертикали, и происходит отрывание полоза от контактного провода.

С расхождением контактов резко уменьшается сила прижима и на последних стыковых микроповерхностях создаются жидкие мосты контакта. Создание моста зависит от характеристического изменения падения напряжения в контактах, проиллюстрированного на рисунке 2.

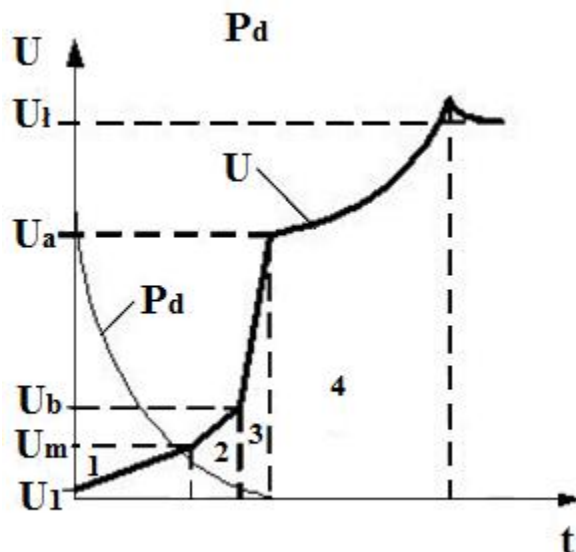


Рис.2. Размещение падения напряжения и динамической силы в контакте при расхождению контактов

В начальной фазе расхождения контактов, вследствие роста плотности тока падение напряжения возрастает со значения  $U_1$  по значению  $U_m$ , при котором материал контакта тает и создается жидкий мост (фаза 1). Значение падения напряжения  $U_m$  для медных контактов в первой фазе составляет 0,43V.

Если процесс расхождения контактов не прервется, тогда при значении падения напряжения  $U_b = 0,82V$  температура моста достигнет температуры кипения материала и начинается фаза парирования материала (фаза 2). Это фаза мостовой эрозии.

В дальнейшем напряжение на контакте непрерывно резко повышается к значению  $U_a$  (фаза 3). Возникает короткая дуга, называемая искрообразованием, в которой падение напряжения определяется исключительно приэлектродными явлениями. Значение напряжения  $U_a$  зависит от ионизации паров материала контакта и потенциала равного работе выхода электронов с поверхности, выполняющей роль катода.

Горение электрической дуги с создавшейся плазмой наступает в фазе 4 расхождения контактов, после достижения значений напряжения загорания дуги, которое для медных контактов составляет около 13V. С загоранием дуги сопротивление контакта как таковое прекращается, а межконтактная поверхность представлена напряжением дуги  $U_1$ . Дуговая эрозия материалов контакта зависит от энергии выделенной в канале дуги во время расхода контактов.

Время создания перечисленных фаз очень короткое и составляет:  $30 \div 100 \mu s$  для фазы 1,  $15 \div 20 \mu s$  для фазы 2 и  $1 \div 10 ns$  для фазы 3.

#### Создание радиотехнических помех в скользящем контакте.

Создание радиотехнических помех наиболее выгодно проанализировать на основе модифицированной схемы дискретной модели контакта, показанного на рисунке 3.

Схема показана на рисунке 3 по сравнению со схемой приведенной на рисунке 2 с точки зрения протекания высокой частоты требует дополнения. Кроме выступающих элементарных сопротивлений  $R_{s_i}$ ,  $R_{p_i}$  следует принять во внимание выступающие элементарные индуктивности и емкости. Элементарные индуктивности диапазона пН.

Емкость контакта составляет от десятков до сотен pF в зависимости от типа контакта. Значения элементарных емкости  $C_{p1}$ ,  $C_{pn}$  зависят от чистоты поверхности, а также типа и свойств слоя налета.

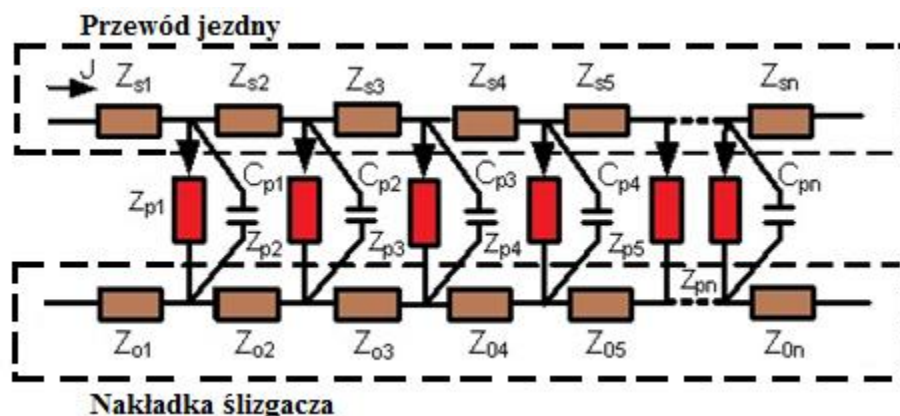


Рис.3. Схема дискретной модели импеданса контакта

Из механической теории стыка вытекает, что значения индуктивности и емкости являются случайными переменными, даже при выполнении условия, что сила прижима имеет постоянное значение.

Во время перемещения ползца вдоль контактного провода ток течет через постоянно изменчивые микроповерхности контакта. Одни исчезают, другие в фазе зарождения. Это обозначает, что значение сопротивления прохода для некоторых микроповерхностей стыка будет стремиться к бесконечности, а для других к значению сопротивления определенному после мгновенного контакта. Что обозначает, что один контакт будет во время инициации а другой во время прерывания.

Для упрощения модели принято, что стыковые поверхности полушарообразные. На поверхности контактного провода может выступать слой окиси, полупроводника, изоляции и слой проводящего графита.

В процессе навязывания стыка вследствие силы прижима наступает формирование поля микроповерхности стыка от минимального значения в начальной фазе стыка до максимального значения, зависящего от силы прижима и твердости материала. Вследствие действия силы прижима на поверхностях создающих микроконтакт наступают деформации эластические и пластические т.е. раздавливание слоя окиси, полупроводникового и изоляционного слоя.

После завершения процесса навязывания стыка для данных микроповерхностей устанавливается мгновенное сопротивление прохода  $R_{pmin}$ , что дает возможность протекания тока  $I_{max}$  для данного элементарного контакта.

На результирующем сопротивлении всего контакта устанавливается определенное значение падения напряжения  $\Delta U_k$  прямо пропорциональное значению силы прижима. Если данная сила большая тогда возникает большое количество микроповерхностей стыка и работа элементарных контактов реализуется при установленном и почти постоянном падении напряжения  $\Delta U_k$ . При малой силе ток будет протекать через малое количество микроповерхностей стыка и это вызовет изменение значения  $\Delta U_k$ .

Результирующее падение напряжения стыка  $\Delta U_k$  вызывает в микротрещинах стыка электрическое поле. Если значение напряженности электрического поля превысит значение потенциала работы выхода электронов, может возникнуть локальный пробой в виде электрической искры. Может также выступать явление фриттинга, вследствие которого создается металлический мост или металлический стык микроповерхностей в области открытого металла.

Следующая фаза работы контакта это расхождение микроповерхностей стыка, рост сопротивления прохода, создание искрового разряда, деионизация микроканала. Сопротивление прохода резко до возникновения микроканала на следующем микровыступе.

Из представленного в упрощенной форме механизма протекания тока через элементарные сопротивления прохода вытекает, что появление электрической искры возможно при возникновении и пробое стыка на каждом элементарном контакте.

Падение напряжения  $\Delta U_k$  на контакте сопровождают быстрые изменения тока с искрением на элементарных сопротивлениях прохода. Появление резких изменений тока с выступанием искрения в цепях RLC вызывает создание нестационарного процесса в виде гашенных вибраций. Чем больше амплитуды импульсов инициации и короче время их продолжения, тем шире спектр генерируемых сигналов. В литературе на тему радиотехнических помех приводится следующая причина создания данных помех: „причиной генерирования радиотехнических помех в электрических цепях являются резкие изменения тока с искрением”. Следует подчеркнуть факт, что искрение свидетельствует о прерывании цепи с выступающим контактом, в котором наступило таяние и парирование материала в контакте при протекании тока. Зато причиной генерирования помех является исключительно резкое изменение значения тока в данной цепи.

Случайный характер размещения микроповерхности стыка является причиной отнесения помех, вызванных скользящим контактом, к квазиимпульсным, потому что накладывают на себя длительность отдельных осцилляций, т.е. еще неокончен один нестационарный процесс, когда начинается второй и т.д.

Поэтому можно сказать, что исключение радиотехнических помех создавших во время работы скользящего контакта невозможно без применения внешних гасительных устройств. Основным фактором, влияющим на качество работы контакта и тем самым влияющим на уровень генерируемых помех, является сила прижима. В подвижном скользящем контакте, каким является стык токоприемника с контактным проводом решающее значение имеет динамическая сила.

В реальном скользящем контакте, который состоит из двух контактных проводов и полоза содержащего, например, две накладки стыка, выступают следующие факторы, которые не принимались во внимание в статье:

- механическое трение, вызывающее определенные термические и механические эффекты,
- динамическая сила, изменяющаяся вдоль длины пролета,
- изменений динамической силы может привести к потере контакта,
- контактная сеть подвергается вибрациям от токоприемника,
- в настоящее время употребляемые контактные накладки полоза изготовлены из графита с добавкой меди, что увеличивает сопротивление перехода,
- стыковые микроповерхности не шарообразные.

Все факторы, которые влияют на уменьшение динамической силы или на ее мгновенные изменения вызывают одновременно рост уровня генерируемых радиотехнических помех.

Уровень радиотехнических помех, вызванных процессом коммутации, относительно мало зависит от мощности переносимой данными электрическими цепями. Значительно большее значение имеет способ и тип коммутации, качество, тип и свойства цепи. Проведенные измерения уровня радиотехнических помех, генерируемых стыком токоприемника с контактным проводом, в функции тока, принимаемого поездом, подтвердили рассматриваемую зависимость.

### Влияние слоя налета в скользящем контакте на уровень радиотехнических помех

Значение сопротивления слоя налета  $R_n$  зависит от толщины и типа слоя, который состоит из слоя абсорбции (поверхностное прилипание) и коррозионного слоя (емкостного) содержащего медь с газом окружающей атмосферы. Контактная сеть подвергается влиянию многих факторов, повышающих сопротивление прохода путем увеличения коррозионного слоя. Пыль от металлургических, цементных, химических заводов вызывает создание сульфидов и карбидов, которые на контактных проводах создают слой высокого сопротивления.

В настоящее время на ПКП применяют графитовые накладки, которые являются композитами графита и меди с добавками. Исследование путем измерений влияния сопротивления слоя налета на уровень радиотехнических помех сложное и трудоемкое, потому что слои налета стираются во время движения, а их натурное восстановление требует нескольких часов перерывов эксплуатации локомотива.

Другим фактором, требующим рассмотрения является влияние атмосферных осадков на уровень радиотехнических помех. Вода от тумана, дождя, росы уменьшает трение, одновременно увеличивая сопротивление прохода. Норма, определяющая методику измерений радиотехнических помех, происходящих от подвижного состава, рекомендует их проведение при сухой устойчивой погоде (после 24 часов за которое не выпало более 0,1 мм дождя). Измерения влияния атмосферных осадков на уровень радиотехнических помех проводились вагон-лабораторией в диапазоне от 0,15 до 3 МГц и для частоты 150 МГц. Во время измерений обнаружен незначительный и составляющий около 2,5 дБ рост уровня помех вызванный дождем.

### Влияние электрической дуги на уровень генерируемых радиотехнических помех

Во время динамического взаимодействия токоприемника с контактной сетью возможны случаи потери контакта провода с токоприемником и ток течет горящей электрической дугой.

На тему явлений, связанных с электрической дугой, существует много разработок, но генерирование радиотехнических помех, вследствие появления дуги, изучено еще немного. Данное вытекает из факта, что это временное явление и все принимающие средства стремятся к его удалению.

Причиной генерирования радиотехнических помех во время загорания дуги являются явления проходящие в плазме. В диапазоне частот для которых проводятся измерения можно не учитывать минусовой характеристики сопротивления дуги на цепи RLC. Созданные в результате уменьшения затухания цепи LC электрические вибрации достигают не очень высоких частот (несколько десятков кГц).

Учитывая опасность повреждения контактной сети не проводились испытания радиотехнических помех во время горения дуги. Провелись измерения во время загорания дуги в момент опускания токоприемника при небольшом токе и скорости 60 км/ч.

Полученная таким путем характеристика напряженности поля радиотехнических помех в функции частоты проходит в среднем на 15 дБ выше значения для данного типа поезда.

Подводя итог можно констатировать, что в эксплуатационных условиях, в местах где может возникать отрыв токоприемника (плохо отрегулированные воздушные стрелки, лед на контактных проводах), следует учитывать возможность значительного повышения уровня радиотехнических помех.

При зарождении электрической дуги может быть кратковременное отсутствие протекания тока из контактной сети в поезд. Каждое кратковременное соединение или прорывание цепи вызывает освобождение энергии собранной в электрическом и магнитном полях в элементах L и C цепи. Создается осцилляционный или периодический нестационарный процесс в электрической цепи. О параметрах, генерируемых пробегов

решают элементы цепи (RLC). Колебательный процесс сопровождается значительными амплитудами напряжения. Амплитуды перенапряжений генерируются во время прерывания цепи с индуктивностью, определяемые по формуле (2):

$$U_m = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

Амплитуда напряжения на контактах может увеличиться в несколько десятков раз по сравнению с эдс цепи. Значение амплитуды перенапряжения зависит от тока и индуктивности цепи. Накопленная в индуктивности энергия разряжается в форме затухающих колебаний.

#### Литература

- [1] Miłkowska M., *Zestyki elektryczne w telekomunikacji*, WNT, Warszawa, 1970..
- [2] Charoy, *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Zasady i porady instalacyjne, Tom I. Źródła, sprzężenia, skutki*, WNT, Warszawa, 1999.
- [3] Ruszel P., *Półprzewodnikowe przyrządy przełączające źródłem szerokopasmowych zakłóceń elektromagnetycznych*, Pomiar, Automatyka i Kontrola, Nr 2, 1997.
- [4] Ochocki B., B. Szydłowski, *Technika przekaźnikowa – podstawowe informacje techniczne. Część III, Napędy i Sterowanie*, Relpol, Nr 12, str. 30-31, 2009.
- [5] Wyderka S., *Ograniczanie przepięć łączeniowych w układach sterowania zawierających elementy indukcyjne*, Elektro.Info, Nr 5, 2007.

### **Определение расстояния между варисторными ограничителями перенапряжений для контактной сети Зкв постоянного тока в лабораторных условиях**

Бялонь А. к.т.н. Институт Железнодорожного Транспорта Варшава, Силезский  
Политехнический Институт Катовице, Польша  
Фурман Ю. инж. Институт Железнодорожного Транспорта Варшава, Польша

#### Введение

Постоянное развитие сложных систем управления, которые в большей степени состоят из электронных устройств, ясно обусловил необходимость обеспечения надежной защиты контактной сети от перенапряжений и тем самым ограничений перенапряжений в устройствах СЦБ. Прежде всего это связано с необходимостью ограничений перенапряжений на более низком чем до сих пор уровне. В связи с тем по заказу Польских Железнодорожных Линий (А.О. ПКП ПЛК) в Институте Железнодорожного Транспорта проводились работы по прототипной системе защиты контактной сети с применением варисторных ограничителей перенапряжений. Для спроектирования и внедрения в употребление данной системы велись трудоемкие испытания как натурные так и лабораторные. Для этого необходимым являлось рассмотрение явления гашения перенапряжений контактной сетью в функции расстояния от источника удара. Возможно это было провести в натуральных условиях, но для экономии времени и финансов проводились лабораторные испытания на разработанной для данной цели лабораторной модели. Модель должна в максимальной степени отражать реальные условия т.е. выполнять требования по пропагации перенапряжений в эксплуатируемой контактной сети.

#### 1.Характеристика модели участка контактной сети

В фазе проектирования модели принято, что она должна исполнять четыре основных критерия:

а) Состоять из элементов с сосредоточенными параметрами, которые будут отвечать километровым участкам контактной сети,



б) параметры составляющих элементов модели обязательно отвечают единичным параметрам ( $L$ ,  $R$ ,  $C$ ) 1 км контактной сети,

в) размещение индуктивных и емкостных элементов модели по отношению друг к другу не может вызывать индуктивной и емкостной связи,

г) примененные элементы должны выполнять требования изоляции предъявляемые для содействия с генератором импульсного напряжения с максимальной амплитудой 7 кВ.

Разработанная лабораторная модель восьмикилометрового участка контактной сети состоит из 8 индуктивностей и 8 земных емкостей (рис. 1). Следует подчеркнуть, что проиллюстрирована длина участка и значения электрических параметров отвечали единичным параметрам типичной контактной сети применяемой на опытном кольце Института Железнодорожного Транспорта в г. Жмигруд.

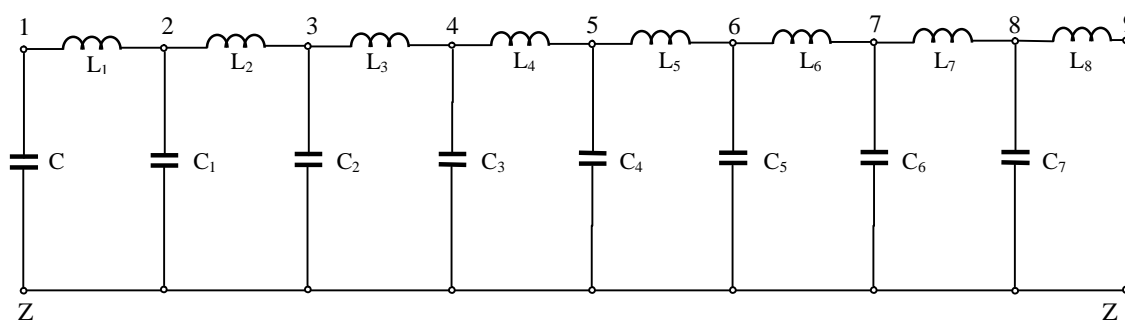


Рис. 1 Электрическая система модели 8 км участка контактной сети

Индуктивный элемент отвечающий 1 км контактной сети изготовлен как катушка с ферритовым разомкнутым сердечником с большой магнитной проницаемостью. Катушка намотана медной проволокой с изоляцией 2мм. Индуктивность намотанной катушки составляла около  $465 \pm 10 \mu\text{H}$  и сопротивление 0,035 Ом. Конденсатор, представляющий доземную емкость изготовлен из двух металлических пластин, разделенных диэлектриком. Емкость такого конденсатора составляла около 10,5 nF и могла регулироваться.

## 2. Методика испытаний

Для испытаний использовался генератор генерируемый импульсы формой 1,2/50 $\mu\text{s}$  и 10/700 $\mu\text{s}$  с максимальной амплитудой генерируемого ударного импульса 6,9 кВ. Принятый тестовый импульс 1,2/50 $\mu\text{s}$  характерный для перенапряжений, создаваемых в электрической цепи от магнитного поля, вызванного как ударом молни так и коммутационными перенапряжениями. Этот импульс широко применяемый для тестов устойчивости электрических и электронных устройств. Реальное время может быть больше. Поэтому велись тоже испытания для импульса 10/700 $\mu\text{s}$ .

Для определения оптимального расстояния варисторных ограничителей перенапряжений по отношению друг к другу в контактной сети, велись измерения величины ударного импульса на модели участка контактной сети с нагрузкой варистора. Как приведено на рисунке 2, генератор импульсного напряжения (G) присоединен ко входу модели, а варисторный ограничитель перенапряжений в конце модели. Испытание заключалось в измерениях и регистрации амплитудов ударных импульсов в пунктах 1\_Z ÷ 9\_Z модели участка контактной сети. Форма амплитуд импульсов напряжения регистрировались с помощью безиндуктивного распределителя напряжения, а форма тока регистрировалась при помощи катушки Роговского.

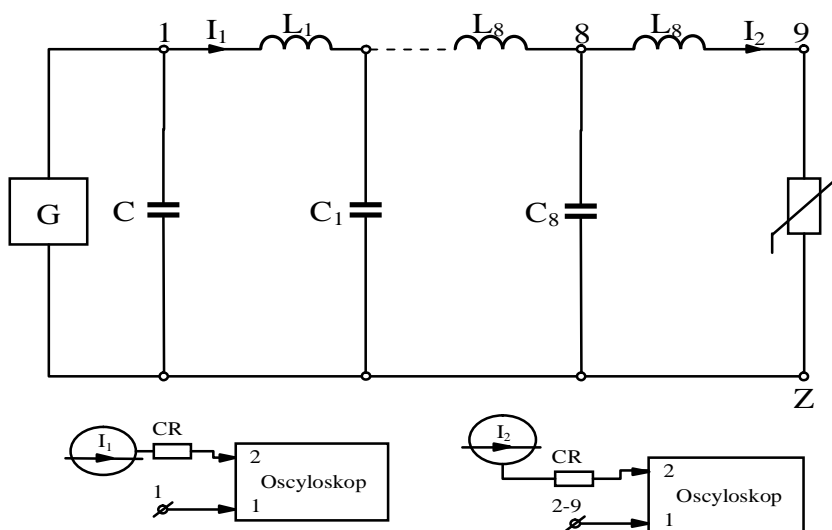


Рис. 2 Схема измерения ударных импульсов с варисторным ограничителем перенапряжений

В дальнейшем для подробных испытаний зоны взаимодействия варисторных ограничителей перенапряжений друг на друга, следовали измерения для различных конфигураций, в которых изменяется расстояние между варисторами и место введения ударных импульсов. В связи с этим принялись два случая выступления ударов по отношению к положению варисторов в разработанной модели :

а) удар посередине между варисторами при переменном расстоянии размещения варисторов т.е. 2, 4 и 6 км,

б) удар у входа модели, в которой один из варисторов застроен в конце модели при расстоянии между варисторами 4 км.

Для первого варианта выступления удара в измерительной системе, представленной на рисунке 3, генератор импульсного напряжения присоединен в пункте 5\_Z, на конечных зажимах модели нет нагрузки. Испытание заключалось в измерении и регистрации амплитудов ударных импульсов в пунктах 1\_Z ÷ 9\_Z для расстояния взаимного размещения варисторов составляющей 2, 4 и 6 км.

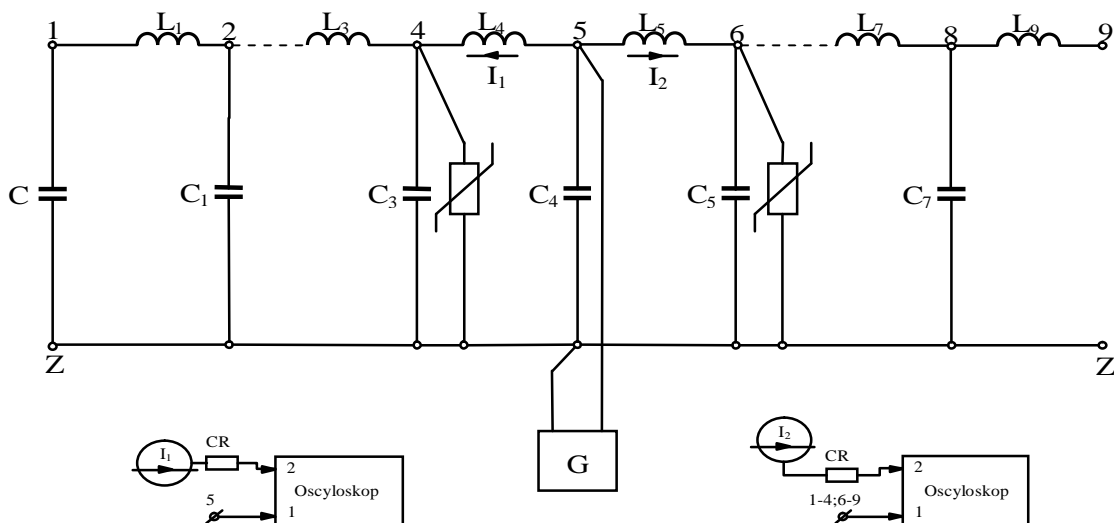


Рис. 3 Схема измерительной ситемы при введении ударных импульсов для модели с нагрузкой варисторного ограничителя перенапряжений.

Во втором варианте амплитуда удара вводилась у входа модели (пункт 1\_Z). Как представлено на рисунке 4 варисторные ограничители перенапряжений приложены в пункте 5\_Z и в конце модели (пункт (9\_Z), поэтому длина взаимного размещения варисторов составляла 4 км. Аналогично первому варианту, испытание заключалось в измерении и регистрации амплитуд ударных импульсов в пунктах 1\_Z по 9\_Z с использованием раньше упомянутых устройств.

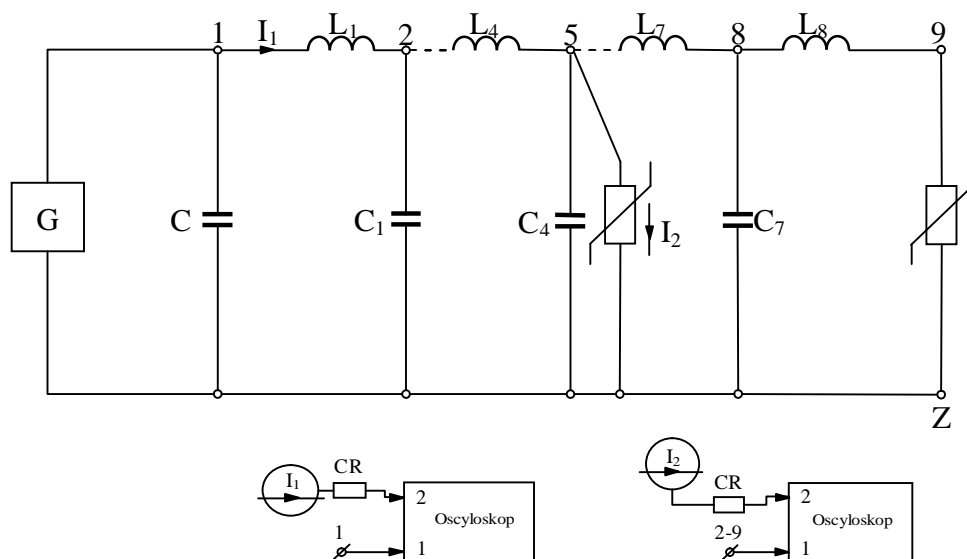


Рис. 4 Схема измерительной системы при введении ударных импульсов для второго варианта

Примененным для испытаний варисторным ограничителям перенапряжений свойственны следующие параметры:

- а) номинальный разрядный ток 8/20  $\mu$ s.- 10 kA,
- б) максимальный разрядный ток 8/20  $\mu$ s.- 40 kA,
- в) рабочее напряжение 440 V,
- г) защитный уровень напряжения при 10 kA (8/20  $\mu$ s) – 1460 V.

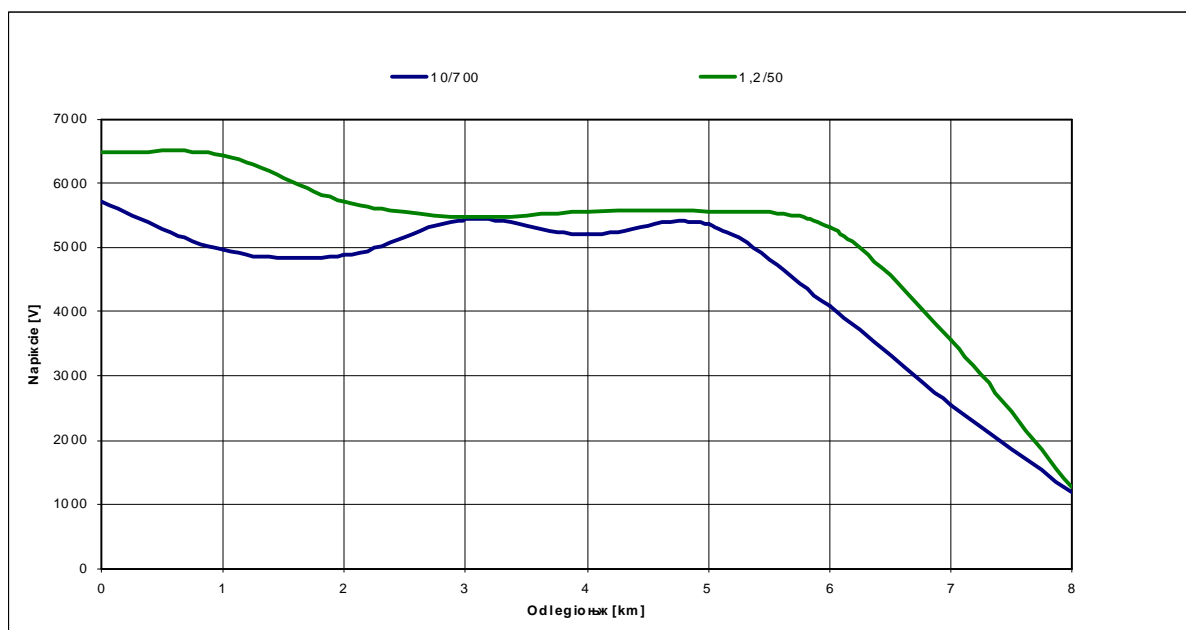
При подборе варисторов основной являлась возможность обеспечения полной их проводимости при максимальной амплитуде импульсов, какие может создавать генератор.

### 3. Результаты испытаний

На основе зарегистрированных амплитуд импульсов ударного напряжения в отдельных измерительных пунктах модели, разработались характеристики размещения амплитуд ударных импульсов в функции расстояния для раньше охарактеризованных измерительных систем.

Рассматривая характеристики приведены на рисунке 5 видно, что им свойственны две характеристические зоны. Зона, в которой не выступает активное воздействие варистора на амплитуд ударных импульсов и зона ограничивающая амплитуда ударных импульсов варисторным ограничителем перенапряжений. При ударах импульсом 10/700  $\mu$ s зона активного воздействия варистора на амплитуд ударного импульса растягивается по сравнению с импульсом 1,2/50  $\mu$ s. Можно сделать вывод, что зона активирования варистора увеличивается при увеличении длительности ударного импульса.

Предварительное определение расстояния размещения варисторных ограничителей перенапряжений друг к другу в контактной сети требует определения перенапряжений, распространяющихся в обоих направлениях от места удара.



Ри с. 5 Распределение амплитудов ударных импульсов (1,2/50 и 10/700  $\mu$ s) в функции расстояния от генератора для модели контактной сети с нагрузкой варистора.

Результаты измерений приведены на рисунке 6. Видно, что при размещении ограничителей перенапряжений в расстоянии 2 или 4 км друг от друга, гашение амплитуды ударного импульса от места удара до присоединения варисторов линейной формы. Зато при расстоянии 6 км оно нелинейной формы. Данное вытекает из факта, что варисторы находятся на границе зоны воздействия ударного импульса.

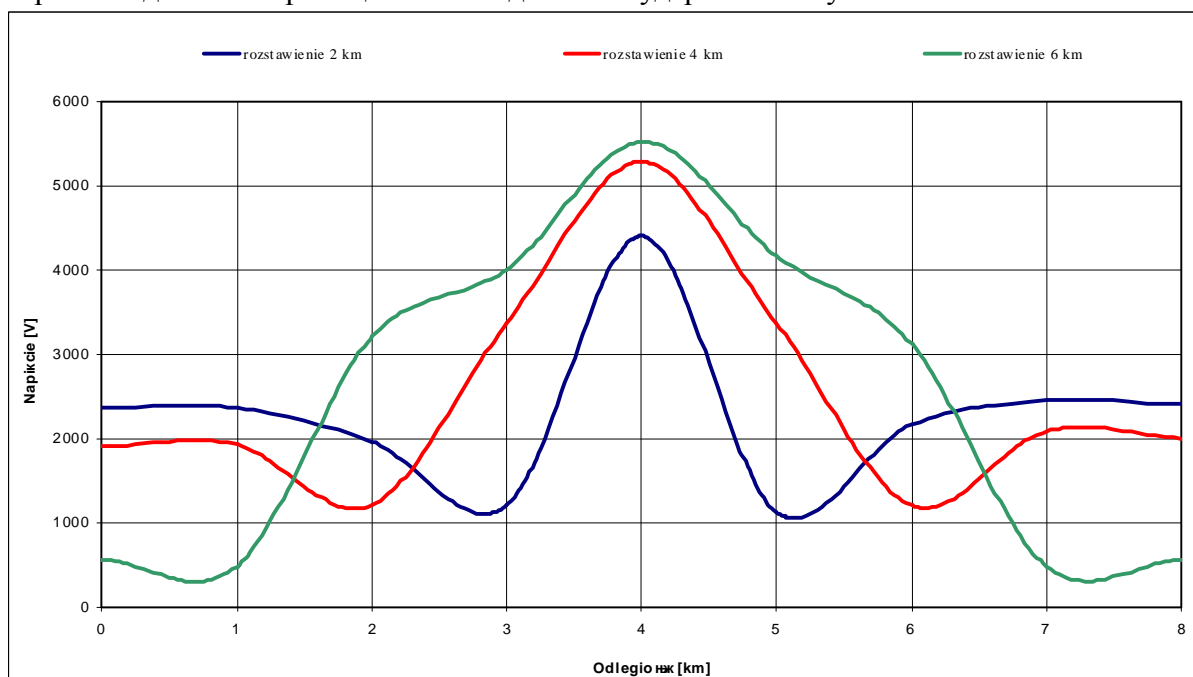


Рис. 6 Характеристики гашения ударных импульсов (10/700 $\mu$ s) в модели контактной сети при размещении варисторов 2, 4 и 6 км для пкрвого варианта выступления удара

В варианте удара у входа модели, где один варистор в конце модели линии при расстоянии между варисторами 4км, характеристика ограничиваения перенапряжений между варисторами приведена на рисунке 7 иллюстрирует, что варистор, присоединенный в конце модели, является нагрузкой для ударных импульсов. Уровень ограничиваения ударных импульсов на участке между варисторами сохраняется на уровне напряжения ограничиваения примененных варисторных ограничителей перенапряжений.

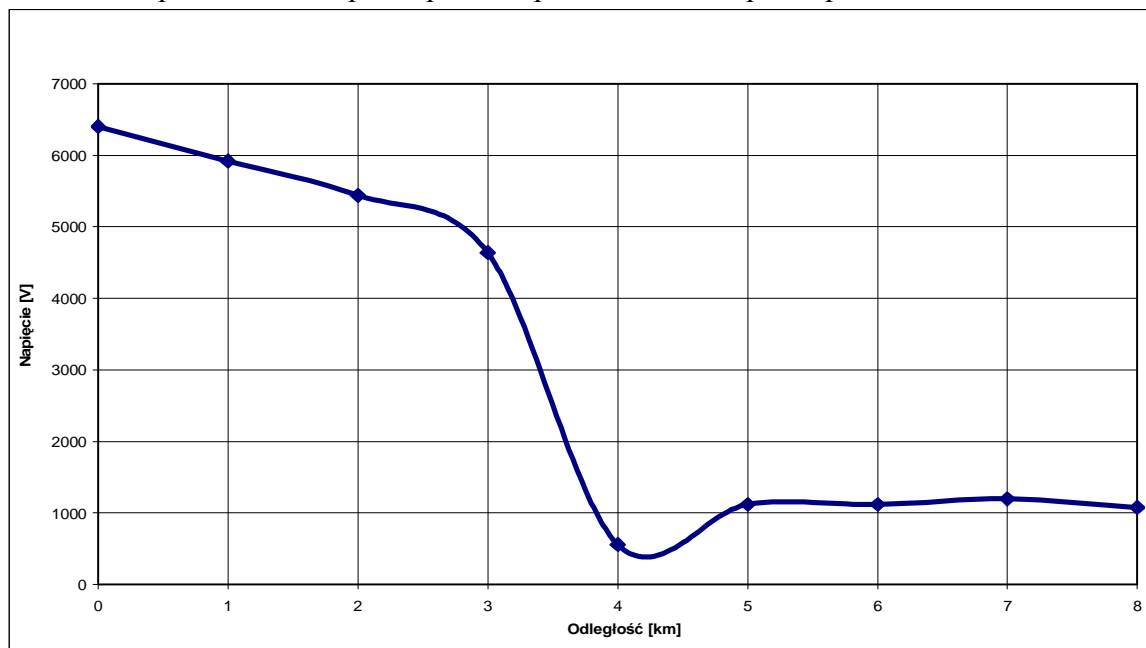


Рис. 7 Характеристики гашения ударных импульсов (10/700μs) в модели контактной сети при размещении варисторов 4км для второго варианта выступления удара

#### 4. Выводы.

На основе анализа характеристик гашения амплитудов ударных импульсов варисторными ограничителями перенапряжений можно прийти к выводу, что оптимальное расстояние варисторов может составлять около 4км. В случае однородной сети (без стрелок, пересечений, ответвлений) застроенной в зоне с низкой изокеауричностью возможно пробовать увеличить расстояние.

Приведенные выводы разработаны на основе лабораторных испытаний на специально для этой цели разработанной модели. Следует их проверить в натурных испытаниях с применением варисторов для защиты от перенапряжений контактной сети с использованием генератора импульсного напряжения с импульсной амплитудой не менее 15 кв.

#### Литература

1. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przebieciami z ogranicznikami warystorowym. Praca IK 3889/10 Warszawa, 2011.
2. Białoń A., Laskowski M., Pajka P., Zawadka Ł., Koncepcja ochrony sieci trakcyjnej 3kV DC przed przebieciami pochodzenia atmosferycznego i komutacyjnego. TTS nr 9/2012.
3. Opracowanie nowego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przebieciami, badania eksploatacyjne nowego systemu, określenie lokalizacji podłączenia ochrony od urządzeń sterowania trakcja i urządzeń sterowania ruchu.Etap1. Praca CNTK 4291/10 Warszawa, 2007.
4. Adamski D., Białoń A., Furman J., Kazimierzczak A., Laskowski M., Zawadka Ł., Problematyka tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej3kVDC. Logistyka 3/2012
5. Białoń A., Furman J., Surge tests conducted in the contact system I lab environment Elektryfikacja transporta Ukraina 3/2012.

## Ефективність впровадження стандартів енергетичного менеджменту

Ваганов О.І., Одеська залізниця

Оптимізація витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) завжди була актуальним завданням на залізничному транспорті України. Але, незважаючи на значні успіхи в економії ПЕР, необхідно відмітити недостатній рівень впровадження на транспорті нових стандартів систем енергетичного менеджменту, що не потребує великих фінансових втрат та забезпечує значну економію. З цієї причини заходи з енергозбереження часто впроваджуються несистемно, без детального, якісного енергоаудиту. На практиці підтверджено, що впровадження стандартів «Системи енергоменеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування» (EN 16001:2009, ISO 50001:2011) знижує енерговитрати на 3% на рік протягом перших 5 років з моменту впровадження, а служба енергетичного менеджменту, що ефективно функціонує, вже протягом першого року знижує витрати на енергоресурси не менше ніж на 5 – 6%. На відміну від технічного «точкового» підходу стандарт ISO 50001 пропонує підхід за рахунок застосування кращої управлінської практики, що дозволяє оптимізувати інвестиційні витрати і практично надає будь-якому підприємству необмежені можливості у сфері енергозбереження за рахунок підвищення ефективності менеджменту

Застосування вимог, включених у ISO 50001:2011, забезпечує значні комерційні вигоди: поліпшення порівняльного аналізу, вимірювання, документування та звітності з підвищення енергоефективності та її прогнозований вплив на зменшення викидів парникових газів; впровадження провідної практики енергетичного менеджменту та принципів енергоефективної поведінки; оцінення нових енергоефективних технологій і вибір пріоритетів у їхньому застосуванні; поширення ідеології енергетичної ефективності на весь ланцюг забезпечення енергоресурсами; чітке визначення обов'язків й особистої відповідальності, що дозволяє раціонально управляти наявними ресурсами; інтеграцію з діючими системами управління якості, екології, охорони праці, безпеки, ланцюга поставок;

підвищення організаційної стійкості підприємства – зниження ризику непоправного збитку від інцидентів у сфері енергопостачання.

Аналіз основних вимог стандартів енергетичного менеджменту дозволяє зробити наступні висновки:

1. Основна увага керівництва підприємства має бути зосереджена не на комплексній системі управління документами, а на ефективному функціонуванні системи. Необхідно оцінити ті технологічні операції, які пов'язані з істотними аспектами енергозбереження, і управляти ними так, щоб максимально виконати вимоги «Політики енергозбереження» і досягти намічених цілей і показників.

2. Як і в будь-якій системі управління, в енергозбереженні слід вести звітність, у якій фіксувати: істотні аспекти енергозбереження; законодавчі вимоги й установлені нормативи, які підлягають застосуванню; процес моніторингу енергозбереження; обслуговування, перевірка та контроль вимірювальних приладів; інформацію стосовно субпідрядників, які працюють на території підприємства; результати інспекції з енергозбереження; результати енергоаудиту; інформацію стосовно ефективності енергозбереження; початі коригувальні та попереджувальні дії.

3. У сучасних системах управління необхідно передбачити ефективний інструмент контролю функціонування системи – внутрішній аудит.

4. Доцільно визначити потенційно можливі аварійні ситуації, які можуть призвести до втрати енергоресурсів і розробити заходи, включаючи підготовку персоналу, із ліквідації негативних наслідків таких ситуацій.

## **Застосування теорії подоби для узагальнення експериментальних досліджень взаємодії трансзвукової струмینی повітря з тупиковим каналом**

Васильків Т.А., Перцевий В.О. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Охолодження неперервнолитого зливка в зоні вторинного охолодження МНЛЗ є однією з основних технологічних операцій, яка визначає якість поверхні металу, що є важливим, наприклад, при виробництві залізничних рейок. Рейки, виготовлені з неперервнолитих зливок, відрізняються більш високою якістю поверхні. На МНЛЗ вітчизняних металургійних підприємств використовуються системи водяного та водоповітряного охолодження неперервнолитого зливка.

Одним з основних недоліків водяного охолодження є утворення поперечних тріщин на поверхні зливка, особливо на його гранях. Окрім цього спостерігається термоцикування поверхні зливка. Перепад температур на окремих ділянках зливка може досягати . До основних недоліків водоповітряного охолодження відносяться необхідність очищення великих об'ємів води перед форсунками для запобігання їх засміченню та формування тріщин унаслідок різної щільності розподілу охолоджувальної води на поверхні зливка.

Використання повітря в якості охолоджувального середовища дозволяє нівелювати недоліки, властиві системам водяного та водоповітряного охолодження.

Окрім цього, використання трансзвукових струменів повітря для охолодження зливка в зоні вторинного охолодження дозволить значно знизити дисипацію енергії струмینی повітря між соплом та поверхнею зливка та отримати величину коефіцієнта тепловіддачі і площу плями контакту струмینی з поверхнею зливка, зіставні з режимом водоповітряного охолодження зливка.

Проведено експериментальне дослідження процесу взаємодії трансзвукової струмینی повітря з тупиковим каналом, днище якого імітувало поверхню зливка, а бічна поверхня каналу імітувала підтримуючі ролики МНЛЗ. Суть експерименту полягала у вимірюванні тиску на днище каналу при натіканні на нього трансзвукової струмینی повітря.

Розміри тупикового каналу та сопла прийняті відповідно до геометричної подібності технологічним та конструктивним параметрам зони вторинного охолодження МНЛЗ. Експеримент з фронтального натікання струмینی на тупиковий канал охоплював наступні значення: діаметр вихідного отвору сопла; діаметр тупикового каналу; глибина тупикового каналу, тобто дренажні отвори уздовж днища тупикового каналу розташовані з кроком ; відносний діаметр тупикового каналу ; кут між віссю сопла і віссю каналу ; відносна відстань від вихідного отвору сопла до днища тупикового каналу змінювалася в межах ; абсолютний тиск повітря перед соплом ; число Маха на зрізі сопла .

Отримане рівняння подібності для випадку фронтального натікання струмینی на тупиковий канал може бути використане для визначення тиску повітря, а. отже, і коефіцієнта тепловіддачі на поверхні неперервнолитого зливка при конструктивних розрахунках системи повітряного охолодження зливка на МНЛЗ.

## **Підвищення надійності роботи силової схеми електровоза 2ЕС6**

Вісін М. Г., Марікуца С.Л. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

У роботі проведено аналіз силових схем електрорухомого складу постійного струму з незалежним та змішаним збудженням тягових двигунів, при живленні їх від обертових та статичних перетворювачів.

Викладено особливості силових схем електровозів постійного струму зі змішаним збудженням 2ЕЛ4 та 2ЕС6 і різниця їх між собою.

Розроблено методику розрахунку пускових резисторів для всіх з'єднань тягових двигунів змішаного збудження.

Дослідженнями встановлено, що електровози з тяговими двигунами змішаного збудження та реостатним регулюванням напруги, у початковий період пуску не можуть реалізувати більший коефіцієнт зчеплення у порівнянні з двигунами послідовного збудження. Лише на більш високих реостатних й особливо на ходових позиціях регулювання швидкості руху електровоза, можливо реалізувати силу зчеплення колеса з рейками на 15-20% вище, ніж на електровозах з тяговими двигунами послідовного збудження.

Розрахунки показали, що на електровозах 2ЕС6 у випадку виникнення кругового вогню на колекторах тягових двигунів, чи пробою щіткотримача на корпус, струм короткого замикання досягне п'ятикратної величини від годинного струму, а перенапруження при розриві струму швидкодіючим контактором досягне 12,5 кВ. Тому розроблена схема захисту тягових двигунів потребує експериментальної перевірки.

## **Маневровий локомотив на гібридній тязі**

Габрінець В.О., Потапчук І.Ю., ДНУЗТ

На залізниці широке розповсюдження отримали маневрові локомотиви. Однак, їх робота відрізняється великою часткою простоїв (66%), під час яких двигун працює в режимі холостого ходу. Лише третина робочого часу дизель локомотива працює в режимі часткових навантажень. При цьому споживається значна кількість палива. У даній роботі пропонується створення конструкції гібридного маневрового локомотива, який буде оснащено акумуляторною батареєю, електрогенератором, силовим електронним перетворювачем і механічною передачею. Постійно працюючий в оптимальному режимі дизель-генератор невеликої потужності заряджає електрохімічні батареї. Для створення основної тяги використовується електродвигун, що живиться від акумуляторних батарей і, у випадку необхідності, для потреб тяги буде підключатися дизель приводу електрогенератора.

В якості прикладу розглянемо добову витрату палива для двох типів маневрових локомотивів: звичайного і гібридного потужністю 500 кВт. Звичайний маневровий локомотив працює в режимі, близькому до номінального приблизно 6 годин на добу, виробляючи при цьому 3000 кВт·год корисної механічної енергії. При цьому його робота відрізняється частими виходами на номінальний режим і переходами на режим холостого ходу. При такому режимі значно зростає інтегральна питома витрати палива. Якщо в якості приводу локомотиву використовується лише дизель, то питома витрата палива для нього в такому режимі буде дорівнювати приблизно 0,35 л/кВт за годину роботи. Для локомотива з вибраною потужністю 500 кВт сумарна витрата палива за 6 годин роботи



складе 1050 літрів. Час, що залишився, (18 годин на добу) локомотив буде працювати в режимі холостого ходу. Якщо прийняти, що на режимі холостого ходу потужність двигуна дорівнює 5...7 % від номінальної і питома витрата при цьому складає 0,2 л/кВт за годину роботи, то витрата палива локомотива протягом часу доби, що лишився, буде складати 108 літрів. Таким чином, сумарна добова витрата звичайного маневрового локомотива потужністю 500 кВт, що працює у вказаному вище режимі, складатиме 1158 літрів пального.

Локомотив на гібридній тязі через специфіку конструкції буде мати постійно працюючий в номінальному режимі дизель, який повинен за добу в підсумку виробляти ті самі 3000 кВт·год корисної механічної енергії, що витрачається на маневрову роботу. В цьому випадку для гібридного локомотива знадобиться дизель потужністю в чотири рази менше, тобто 125 кВт. При встановленні такого дизеля на гібридний локомотив матиме місце різке зниження витрати палива. Це пов'язано з тим, що він всі 24 години на добу буде працювати в оптимальному режимі максимальної номінальної потужності, при якому питома витрата палива буде мінімальною і складатиме 0,15 л/кВт за годину роботи. При вказаних середніх питомих витратах палива для гібридного локомотива сумарна добова витрата палива в цілому буде складати 375 літрів, тобто в 3 рази менше. При щоденній роботі локомотива протягом року річна економія палива складатиме 285795 літрів. За нинішніми цінами на дизельне паливо це відповідає річному економічному ефектові 2,7 мільйонів гривень для одного локомотива на гібридній тязі. Якщо для гібридного локомотива використовуються нікель-кадмієві акумуляторні батареї з питомою потужністю 300 Вт/кг, то для номінальної роботи на потужності 500 кВт знадобиться батарея масою 7500 кг.

### **Энергоэффективная система климатизации и вентиляции пассажирского вагона.**

Габринец В.А., д.т.н., проф., Титаренко И.В. (ДНУЖТ)

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов на транспорте. Это в первую очередь связано с глобальным энергетическим кризисом, вызванным постепенным истощением традиционных энергоресурсов и резким возрастанием потребления этих энергоресурсов в мире. С другой стороны, важной проблемой является обеспечение комфортных условий перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте. Это требует затрат энергии на обогрев вагона в холодный период года и его кондиционирование в летний период. К этим затратам добавляются затраты энергии на вентиляцию вагонов.

Сохранение тепла в вагоне в зимнее время года зависит от состояния термоизоляции, качества ее укладки (объективные причины) и соблюдения режима отопления проводником вагона (субъективные причины). Для термоизоляции в ограждающих конструкциях кузовов вагонов, т.е. в крыше, стенах и полу, между наружной и внутреннего обшивками, помещается слой теплоизоляционного материала, отличающегося пористым строением и, следовательно, малой плотностью (20—35 кг/м<sup>3</sup>) и низким коэффициентом теплопроводности (0,03—0,04) Вт/м К.

Величина тепловых потерь пассажирского вагона при внутренней температуре 18 °С в зависимости от температуры внешней среды колеблется в пределах 43-5кВт. При этом средняя теплопроводность стенок вагона составляла 1Вт/мК град, коэффициенты теплоотдачи внутри и снаружи вагона соответственно 5 Вт/м<sup>2</sup>К град и 50 Вт/м<sup>2</sup>К град. Размеры вагона 23950×3058×(4355-1070) мм. Если снизить теплопроводность стенок

вагона до значения  $0.2 \text{ Вт/мК}$ , то величина тепловых потерь уменьшится приблизительно в 3 раза для соответствующих условий. Таким образом, наиболее эффективным мероприятием по снижению тепловых потерь является улучшение теплоизоляционных свойств стенок вагона. В идеальном, «адиабатическом» вагоне основными тепловыми потерями будут потери на вентиляцию.

На одного человека требуется  $60 \text{ м}^3/\text{час}$  воздуха. На 38 человек купейного вагона требуется  $2280 \text{ м}^3/\text{час}$  воздуха. Объем пассажирского вагона составляет приблизительно  $200 \text{ м}^3$ . Таким образом, кратность циркуляции составляет 11 при полном заполнении вагона. Если подаваемый воздух брать при наружной температуре  $-35^\circ\text{C}$  и выше с последующим нагревом и нагнетанием в вагон при температуре  $18^\circ\text{C}$ , то величина затрачиваемой на это мощности будет меняться, в пределах  $40\text{--}8 \text{ кВт}$ . Таким образом можно сделать вывод, что тепловые потери вагона и затраты на нагрев вентиляционного воздуха практически равны между собой. То есть тепловые потери можно компенсировать за счет теплоты воздуха подаваемого для вентиляции вагона. Это предполагает создание гибридной совмещенной системы нагрева и вентиляции пассажирского вагона. В этом случае подаваемый на вентиляцию вагона воздух одновременно является источником тепла. Такой подход значительно упрощает систему вентиляции и климатизации вагона.

При такой интенсивной вентиляции и больших затратах на нагрев подаваемого воздуха целесообразным представляется установка компактного теплообменника для рекуперативного отбора тепла от вентилируемого воздуха. Это позволит дополнительно на 20-30 процентов снизить энергетические затраты. Кроме этого такая схема позволяет осуществлять дозированную подачу воздуха в зависимости от степени заполнения вагона пассажирами. Возможности схемы раскроются в полной мере при подключении к ней реверсного теплового насоса, который сам в свою очередь позволяет снизить энергетические затраты в 3-4 раза за счет использования энергии окружающей среды.

### **Использование полосы отчуждения железной дороги для генерации электроэнергии с помощью солнечных панелей**

Гончаров Ю.П., Замаруев В.В., Маляренко Е.А., Стысло Б.А., Бобров М.А. (НТУ «ХПИ»), Панасенко Н.В., Божко В.В. (ХФ ДНДЦ УЗ)

По оценкам западных экспертов, Украина в состоянии полностью обеспечить себя возобновляемой электроэнергией, прежде всего, за счет энергии Солнца. Для условий Украины с её высокой плотностью населения наиболее перспективны не крупные электростанции, занимающие большую площадь, а электрические генераторы, расположенные вдоль объектов с линейным расположением в пространстве, например, улиц в пределах населённых пунктов и соединяющих их дорог. К числу таких объектов принадлежат и железные дороги с их земельными полосами отчуждения, которые приписаны к дорогам.

Авторами доклада в ряде предшествовавших работ предложена структура с продольной линией постоянного тока, которая связывает фотогенераторы в последовательную электрическую цепь, и полупроводниковыми преобразователями для их подключения к приемнику электроэнергии в качестве которого может выступать, например контактная сеть железной дороги постоянного тока. Генерируемая электроэнергия может либо непосредственно использоваться подвижным составом, либо передаваться по контактной сети в накопители, устанавливаемые на тяговых подстанциях. Одно из достоинств этого варианта состоит в практически полном отсутствии электромагнитного взаимодействия между двумя линиями постоянного тока – контактной

сетью и продольной линией, связывающей фотогенераторы. Режим источника тока в продольной линии является также наиболее естественным для фотогенераторов, которые содержат в своей электрической схеме замещения источник тока, пропорциональный интенсивности солнечного излучения. Последовательно соединённые фотомодули содержат индивидуальные согласующие широтно-импульсные преобразователи, позволяющие максимизировать получаемую энергию. Здесь вновь проявляется преимущество последовательной организации, которое состоит в отсутствии потребности в применении индивидуальных трансформаторных развязок, которые привели бы к существенному удорожанию системы.

В докладе приводятся схемы как согласующих преобразователей, так и преобразователей для связи с контактной сетью как приёмником энергии. Связывающие преобразователи устанавливаются с относительно большим шагом по длине продольной линии и, кроме того, необходимые для их реализации трансформаторные развязки выполняются на повышенной частоте порядка нескольких килогерц, что позволяет получать приемлемые массо-габаритные и энергетические показатели трансформаторов.

Для полупроводниковых преобразователей может быть применена наиболее современная элементная база, использующая новое поколение быстродействующих силовых транзисторов на основе галлиевых соединений.

В качестве обратного провода в продольной линии могут использоваться рельсы.

В докладе выполнена оценка количественных характеристик предлагаемой системы электроснабжения, с применением распределенных генераторов возобновляемой энергии.

Разработаны компьютерные модели отдельных узлов рассмотренной системы электроснабжения. Моделирование подтвердило возможность получения указанных выше свойств и характеристик системы.

### **Методика розрахунку параметрів факелу паливної суміші в циліндрі дизельного двигуна при роботі на біопаливі**

Горячкін В.М., Потапчук І.Ю., ДНУЗТ

В умовах підвищення вартості нафти та збільшення екологічних вимог до двигунів важливим питанням стає підвищення енергетичних характеристик дизельних двигунів, що дозволяє знизити витрату палива та зменшити викиди забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Крім того, в останні роки значна увага приділяється дослідженню можливості використання біопалива і, зокрема, ріпакової олії в двигунах внутрішнього згоряння. Але, оскільки теплофізичні властивості біопалив відрізняються від властивостей дизельного палива, його застосування неминуче приведе до змін експлуатаційних характеристик двигуна.

Відомо, що на ефективність роботи дизельного двигуна, його потужність та економічність має суттєвий вплив сумішоутворення в камері згоряння, яке безпосередньо залежить від параметрів розпилювання рідкого палива форсунками.

В камері згоряння може здійснюватись об'ємне, об'ємно-плівкове та плівкове сумішоутворення. Найбільший ККД досягається при об'ємному сумішоутворенні, яке забезпечує рівномірний розподіл палива та найбільш повне використання кисню при умові достатньо дрібнодисперсного розпилювання палива в камері згоряння дизельного двигуна. Розрахунок дисперсного складу паливного факела, який утворюється на виході з форсунки, дозволяє створити математичну модель руху та випаровування краплин та зрозуміти закономірності процесів сумішоутворення та спалювання палива.

Динаміка розвитку факела розпиленого палива визначається швидкістю витікання палива з соплових отворів розпилювача форсунки.

Для розрахунку параметрів факелу паливної суміші, утвореної з дизельного палива та ріпакової олії, була проведена адаптація методики, розглянутої Н.Ф. Разлейцевим з врахуванням робіт А.С. Лишевського. Ця методика базується на фізичній моделі факела, за якою в дизелі відбувається двостадійний розвиток струменя розпиленого пального: пульсуючий на початковій ділянці (ділянка різкого гальмування струменя) і кумулятивний – на основній. Врахування властивостей біопаливних сумішей проводилось на основі експериментальних досліджень їх теплофізичних властивостей.

Згідно з методикою розрахунку за параметрами роботи форсунки та розмірами її прохідних отворів визначаються діаметр краплин та довжина факела для палива, що розпилюється в камері згоряння дизельного двигуна.

В якості прикладу були проведені розрахунки параметрів факелу, утворюваного при використанні біопаливних сумішей з різним вмістом ріпакової олії, для камери згоряння двигуна СМД 1800 з діаметром циліндра 82 мм, ходом поршня 88 мм, номінальною частотою обертання 3000 об/хв, ступінню стиснення 18.

Згідно з розрахунками при збереженні тиску подачі біопаливних сумішей при збільшенні частки ріпакової олії в суміші середній розмір крапель, що утворюються, зростає. Це призводить до зменшення питомої поверхні, уповільнення випаровування палива, і, як наслідок, до погіршення сумішоутворення. Таким чином, виходячи з властивостей біопаливних сумішей, для уникнення можливих негативних наслідків при їх використанні необхідне удосконалення паливної системи двигуна з підігріванням паливної суміші перед подачею на розпилювання. Враховуючи більш вузький фракційний склад біопаливних сумішей, при відповідній факелу конструкції камери згоряння, буде відбуватись більш рівномірне горіння палива, що сприятиме покращенню енергетичних показників роботи двигуна.

### **Визначення уставок мікропроцесорних захистів фідерів контактної мережі постійного струму.**

Данилов О.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту (Україна)

Останнім часом для захисту електричних мереж все більше впроваджуються мікропроцесорні комплекти. З'явилися багатофункціональні мікропроцесорні комплекти і для захисту фідерів контактної мережі постійного струму. В Укрзалізниці використовують два пристрої: ЦЗАФ-3,3 ТОВ «НИИЭФА-ЭНЕРГО» і МРЗС-05А-02 ПО «Киевприбор». По технічним характеристикам обидва пристрої дуже схожі. Вони включають в собі наступні захисти:

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

Мікропроцесорний захист вимірює тільки струм і напругу. Всі інші параметри (опір, швидкість зміни струму) мікропроцесорний захист розраховує.

Всі захисти, які реалізовані в ЦЗАФ-3,3 діють автономно і не мають можливості аналізувати і впливати один на інший. Тобто мікропроцесорний комплект ЦЗАФ-3,3

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

Захист повинен забезпечувати: чутливість до коротких замикань у межах зони, що захищається, і зони резервування, відстроєність від зовнішніх (за межами зони, що захищається,) коротких замикань і нечутливість до максимальних навантажень нормального режиму роботи. Зона фідерного захисту є ділянка від підстанції до поста секціонування.

Розрахунок уставок виконується з урахуванням найскладніших режимів. Тобто аварійні режими розраховуються при мінімальному режимі, а робочі при максимально можливому.

Існують дільниці на яких можливі короткочасні режими при яких максимальні робочі струми перевищують струми короткого замикання, розраховані для всієї зони захисту. В таких випадках, для налаштування захисту МТЗ, або зменшують зону захисту і тоді буде «мертва» зона в кінці лінії, або можливі хибні спрацьовування.

Захисти які реагують на зміну струму теж не можуть захистити з достатньою чутливістю всю зону. Зазвичай робочі кидки струму при рушанні і переключенні схем електровозів значно менші за кидок струму при короткому замиканні в кінці зони захисту. Але існують режими, коли можливі великі значення зміни струму за короткий час. Це:

- проїзд поїзда під струмом ізолюючого сполучення;
- відрив струмоприймача від контактного проводу.

Тому МТЗ і захист по швидкості зростання струму на грузонавантажених дільницях не можуть використовуватися в якості основного захисту.

Аналіз осцилограм робочих і аварійних режимів, розрахунки різних дільниць показали можливість застосування дистанційного захисту в якості основного, який захищає всю лінію. МТЗ доцільно використовувати в якості струмової відсічі.

### **Струморозподіл в тяговій мережі з відсмоктуючими трансформаторами при вимушених режимах.**

Данилов О.А., Чудопалова Т.О., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту (Україна)

Відсмоктуючі трансформаторами (ВТ) використовуються в системі тягового електроживлення для зменшення електромагнітного впливу на суміжні лінії. Ця система широко використовувалася на початку електрифікації залізниць на змінному струмі. Використання цієї схеми дозволяло значно зменшити електромагнітний вплив на лінії зв'язу. Найбільший захисний ефект має схема живлення з відсмоктуючими трансформаторами і проводом зворотнього струму, яка дозволяє зменшувати електромагнітний вплив на повітряні лінії в 4-10 разів.

В якості відсмоктуючих трансформаторів використовують однофазні масляні трансформатори з алюмінієвими обмотками. Первинну обмотку відсмоктуючого трансформатора підключають у розріз контактної мережі в місцях сполучення анкерних ділянок. Паралельно первинній обмотці відсмоктуючого трансформатора встановлюють нормально розімкнений роз'єднувач. Така схема дозволяє швидко відновлювати живлення в разі виходу трансформатора з ладу, чи при його демонтруванні. Трансформатори розташовують приблизно через 4 км. Вони встановлюються зазвичай без огорожень на чотирьох залізобетонних стійках. Останнім часом значно збільшилися випадки крадіжок і вандалізму. Достатньо поширені зливи масла з трансформаторів. При навантаженні такі

трансформатори перегріваються і виходять з ладу. При цьому змінюється схема живлення і навіть знеструмлюється дільниця. Для швидкого відновлення руху первинну обмотку трансформатора шунтують роз'єднувачем.

Захисні властивості схеми живлення з відсмоктуючими трансформаторами залежать від струму в рейках і в зворотньому проводі. Ці струми в значній мірі залежать від розташування навантаження на дільниці. Був проведений аналіз схем, коли зашунтовані один чи декілька трансформаторів на різних відстанях від підстанції. Для аналізу була побудована модель в програмному середовищі MatLab. Модель складала одноколійна дільниця з 10 відсмоктуючими трансформаторами, які можна було зашунтувати перемикачами. Розрахунки проводилися при переміщенні однакового навантаження через кожні 500 метрів. При нормальному режимі, коли всі трансформатори підключені, струм повертається на підстанцію по зворотньому проводу. Дослідження показали, що на дільниці з відключеним трансформатором зворотній струм розподіляється між рейками і зворотнім проводом в залежності від їх опору. Для зворотнього проводу А-185 і рейок Р-65 струм розподіляється приблизно 1:3. Струм в зворотньому проводі залежить не тільки від співвідношення опорів, а й від відстані між робочими трансформаторами. При трьох відключених підряд трансформаторах ця відстань дорівнювала 12 км. При збільшенні відстані збільшується шунтуюча дія землі і струм в зворотньому проводі ще більше зменшується. Зменшення струму в проводі відбувається тільки на дільницях з відключеними трансформаторами. Відповідно і часткове зменшення захисних властивостей цієї схеми живлення відбувається тільки на дільницях з відключеними чи демонтованими трансформаторами. На дільницях з робочими трансформаторами струм протікає по зворотньому проводу. Розрахунок було виконано для контактної підвіски ПБСМ70+МФ85, зворотнього проводу А-185 і рейок Р-65.

### **Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на рівень електромагнітної сумісності.**

Денисюк С.П., д.т.н., проф, Дерев'янка Д.Г., аспірант, Мирошніченко В.В. магістр  
ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

На сьогоднішній день все більшу актуальність набирає розосереджена генерація (РГ), бо інтеграція РГ з централізованим енергопостачанням дозволяє збільшити ефективність використання енергетичних ресурсів. Проте, використання РГ негативно впливає на електромагнітну сумісність. В зв'язку з цим, виникає задача оцінки спотворень, які генерують нові засоби енергозабезпечення.

Для оцінки впливу РГ на показники якості електричної енергії було вибрано генеруючу станцію, яка складається з сонячної електростанції (СЕС) та малої ГЕС (МГЕС) потужністю 1,8 та 0,28 МВт, відповідно.

Вхідними даними для аналізу є інформація, отримана в ході інструментального аналізу. Для проведення інструментального обстеження було використано аналізатор спектру паралельного типу SATEC PNA296.

Модель SATEC має можливість вимірювати: амплітудні значень напруг та струмів по фазам, несиметрію напруги та струмів, максимальний інтегральний струм, максимальну/мінімальну інтегральну напругу, потужність (активну, реактивну, повну), коефіцієнти пульсації струмів та напруг.

Аналіз показав, що на виході з інвертора кут зсуву фаз між струмом та напругою дорівнює нулю. Проте коефіцієнт пульсації вищих гармонійних складових перевищує

10%. Отже, за класичним поняттям реактивна потужність також дорівнює нулю. В дійсності ж, по мережі протікає реактивна потужність.

Для оцінки додаткових втрат було використано декомпозицію реактивної потужності по Фризе (див. вираз (1)).

$$Q_{\phi}^2 = U^2 \frac{I_{m(1)}^2 \sin^2(j_k)}{2} + U^2 \left[ \left( I_0 - \frac{PU_0}{U^2} \right)^2 + \sum_{n,k,n \neq k} \frac{\left( I_{m(k)} \cos j_n - PU_{m(k)} / U^2 \right)^2}{2} + \sum_{n,n \neq k} \frac{I_{m(n)}^2}{2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sum_{k,k \neq n} \left( PU_{m(k)} / U^2 \right) \right] \quad (1)$$

Цей показник дозволяє точно оцінити реактивну потужність як в системах постійного, так і в системах змінного струму. Так, для розрахованого об'єкту при  $\cos \phi = 1$  реактивна потужність складала 1,3 кВар, при активній потужності 9,3 кВт.

В зв'язку з вищевикладеним, виникає інша проблема – виявлення дольового внеску спотворень (ДВС) у точці загального підключення (ТЗП). Мета вирішення цієї проблеми – ідентифікація винуватців погіршення якості електричної енергії та визначення долі їх внеску.

$$t^+ \\ Q_{\text{ОБ}}^{(1)} = 1/T \int u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt; \quad (2) \\ 0$$

Цей підхід базується на використанні алгоритму оцінки взаємного впливу елементів з виділенням внеску елемента у спотворення електроенергії у вибраному вузлі та аналізу величини впливу спотворюючих факторів на електромагнітні процеси в елементі системи. Для виконання даної задачі дійснюється розрахунок обмінних потужностей (див. (2)) у розщепленій на ортогональні складові моделі на основі реактивної складової струму згідно та визначається дольовий внесок для j-го елемента:

$$\Delta Q_{\text{В},j} = Q_{\text{ОБ},j} / Q_{\text{ОБ},S}, \quad (3)$$

де  $Q_{\text{ОБ},S} = \sum Q_{\text{ОБ},j}$

### **Організаційні механізми створення системи енергоменеджменту на підприємствах, організаціях згідно стандарту ISO 50001**

Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ НТУУ «КПІ», Огієвич О.М.

Нова концепція енергетичного менеджменту згідно стандарту ISO 50001 стимулює появу і розвиток метрологічного забезпечення та нормативно-методичної підготовки контролю, обліку, аналізу ефективності використання енергоресурсів. Сучасна концепція енергетичного менеджменту, що припускає радикальний перегляд існуючих точок зору щодо функціонування енергетичних структур на підприємствах різних галузей.

В Україні у сфері енергетичного менеджменту діють стандарти: ДСТУ 4472:2005 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги»; ДСТУ 4715:2007 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадіях розроблення та впровадження»; ДСТУ 5077:2008 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових

підприємств. Перевірка та контроль ефективності функціонування». Положення цих стандартів у сучасних умовах вже застаріли; вони є гальмом реалізації нової концепції енергетичного менеджменту згідно стандарту ISO 50001.

На сьогодні в Україні вкрай важливою є розробка стандарту ДСТУ ISO 50001:

"Енергозбереження. Системи енергоменеджменту. Вимоги та керівництво до використання". Необхідна подальша гармонізація нормативної бази України з міжнародними стандартами з метою створення системи національних стандартів у сфері енергоменеджменту, які б відображали сучасні уявлення про енергоменеджмент та досвід передових країн. Слід враховувати, що стандарт ISO 50001 базується на застосуванні циклу безперервного покращення Plan-Do-Check-Act (планування - виконання - перевірка - коригування) та забезпечує впровадження енергоменеджменту в щоденну практичну діяльність організацій.

Виділяють такі кроки реалізації ISO 50001 на підприємстві:

- 1-й крок. Рішення керівництва, призначення керівника проекту.
- 2-й крок. Планування проекту.
- 3-й крок. Визначення меж системи енергоменеджменту.
- 4-й крок. Збір базових даних.
- 5-й крок. Визначення значущих енергофакторів; розробка першої програми економного енергоспоживання.
- 6-й крок. Аналіз результатів і прийняття зобов'язань вищим керівництвом.
- 7-й крок. Формування енергетичної політики.
- 8-й крок. Організація діяльності, покращення комунікацій, забезпечення ресурсами.
- 9-й крок. Документація системи енергоменеджменту, управління документацією і записами.
- 10-й крок. Розробка процесів, пов'язаних зі споживанням енергії.
- 11-й крок. Поінформованість, підвищення кваліфікації, потенційні можливості.
- 12-й крок. Тип і структура комунікацій із зацікавленими сторонами.
- 13-й крок. Збір та обробка заходів щодо вдосконалення.
- 14-й крок. Планування витрати енергії, створення контрольних цифр і порівняльний аналіз.
- 15-й крок. Застосування організаційних особливостей та комунікацій.
- 16-й крок. Актуалізація енергоаналіза, здійснення внутрішніх енергоаудитів.
- 17-й крок. Щорічна актуалізація енергозберігаючих програм.
- 18-й крок. Аналіз зі сторони керівництва.

### **Організації мультиагентного керування електроенергетичними об'єктами та системами**

Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ НТУУ «КПІ»

Динамічне зростання енергоспоживання, подальше забезпечення вимог до якості електроенергії та надійності енергопостачання потребує розвитку електроенергетики України відповідно до положень концепції Smart Grid, яка широко увійшла у практику модернізації електроенергетики провідних країн світу.

Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи є розширення ролі активного споживача та сучасних механізмів мотивації його активної поведінки. Активний споживач – це учасник споживчого ринку електроенергії, який має можливість, виходячи зі своїх потреб, оптимізувати графік споживання та



завантаження своїх потужностей генерації електроенергії, як з метою мінімізації витрат на рівні споживання електроенергії, так і з метою отримання доходу від продажу електроенергії та потужності власного виробництва.

Під активною поведінкою такого кваліфікованого споживача розуміється забезпечення можливості самостійної зміни обсягів споживання та генерації, функціональних властивостей (рівня надійності, якості тощо) одержуваної електроенергії на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про характеристики цін, обсяги поставок електроенергії, надійності тощо.

На сьогодні важливо визначити структури активних споживачів, які доцільно задіяти в Україні, а також сформувати методи та засоби керування режимами електроспоживання існуючих типів споживачів в умовах нової моделі конкурентного ринку в нашій країні, вирішити питання динамічного балансування графіків навантаження та генерації електроенергії, визначення стратегії розвитку активного споживача та необхідного нормативно-методичного забезпечення у цій сфері, здійснити стимулювання (за рахунок економічних чи адміністративних механізмів) споживачів до участі у регулюванні навантаження.

Перехід ринку електроенергії від моделі єдиного покупця до моделі двосторонніх договорів та балансууючого ринку висуває відповідні вимоги щодо кваліфікації активних споживачів при їх виході на ринок електроенергії. Із розширенням ролі споживача в інтелектуальній електроенергетичній системі підвищуються вимоги до систем керування ними, урізноманітнюються закони та алгоритми керування. Такі системи мають розвиватися в напрямку децентралізації, розширення їх структури та кількості об'єктів керування з вирішенням багатокритеріальних задач в умовах невизначеності. Мають бути визначені структури та особливості реалізації сучасних мультиагентних систем (МАС), архітектура їх побудови, принципи роботи активного споживача у електроенергетичній системі, а також процес взаємодії кількох активних споживачів у рамках однієї системи.

Реалізація моделі активного споживача, крім економічних питань, вимагає істотного опрацювання технічних та технологічних питань керування потоками електроенергії в режимі реального часу, розробки архітектур інформаційних систем, протоколів обміну інформацією, технологічної платформи взаємозв'язків активного споживача із інтелектуальною електроенергетичною системою.

Слід зазначити, що активний споживач разом із ефективним мультиагентним керуванням (МАК) широко застосовуються у провідних розвинутих країнах Заходу. Робота таких активних споживачів у електроенергетичних системах дає суттєвий економічний і технологічний ефект (до 10%) за рахунок вирівнювання графіків навантажень за допомогою технологій накопичення (акумуляування) енергії та регулювання графіків електроспоживання засобами силової електроніки.

### **Особливості побудови систем microgrid для електроживлення залізничного транспорту**

Д.Г. Дерев'янка, аспірант, М.Ю. Попик, магістр, Національний технічний університет України «КПІ»

Впровадження розосередженої генерації при наявності центральної системи може обумовити погіршення показників якості електроенергії, таких як коливання напруги, відхилення напруги, гармоніки напруги і струму в системах електроживлення залізничного транспорту. Найбільш часто використовувані відновлювані джерела енергії,

такі як сонячні фотоелектричні системи та енергія вітру можуть викликати порушення якості енергії.

Останнім часом значного розповсюдження набули системи електропостачання типу Microgrid. Термін Microgrid відноситься до єдиної підсистеми електричної енергії в комплексі з обмеженою кількістю розосереджених джерел енергії, які є відновлюваними або/і традиційними джерелами разом з підключеними навантаженнями.

Проведений аналіз системи Microgrid на прикладі паралельної роботи двох різнорідних генераторів ( $G_1$  і  $G_2$ ) на спільне навантаження показує суттєву залежність струму в навантаженні не лише від співвідношення між амплітудами напруг генераторів (коефіцієнту небалансу), а і від величини початкових фаз генераторів. В джерелах крім перших гармонік напруги проаналізовано також вплив вищих гармонічних складових.

Здійснені розрахунки показали, що чим менше фазовий зсув 3-ї гармоніки між генераторами системи тим більше діюче значення струму навантаження і відповідно навпаки. Також важливий вплив має коефіцієнт небалансу між  $G_1$  і  $G_2$ , адже навіть невелика зміна даного коефіцієнту призводить до значної зміни амплітуди діючого значення струмів та впливає на швидкість зміни діючого значення струму навантаження від зміни початкової фази одного з генераторів. Так при більшому коефіцієнті небалансу спостерігається більш різка зміна характеристики струму у навантаженні. Це дослідження показує значний вплив гармонічних складових напруги на діюче значення струму в навантаженні.

Впровадження системи Microgrid дає можливість вирішити ці питання шляхом збалансування системи. Однією з основних функцій системи Microgrid є узгодження дії локальної і центральної системи для покращення якості електричної енергії.

В системах Microgrid розосереджені джерела генерації повинні оснащуватись відповідними пристроями силової електроніки і контролерами забезпечення стійкості роботи системи, як єдиної приєднаної системи підтримання якості електричної енергії. – Microgrid-система в основному складається з розосереджених джерел генерації, поєднаних лініями постійного та змінного струму, системи акумулювання, розподільчої системи та систем контролю і зв'язку.

Для реалізації більшості можливостей впровадження систем розосередженої генерації потрібен системний підхід, який розглядає генератори та пов'язані з ними навантаження як складові елементи системи Microgrid. Однією з переваг Microgrid систем є те, що під час порушень роботи системи, генератори і відповідні навантаження можуть бути відокремлені від системи розподілу навантаження, щоб ізолювати систему Microgrid від порушень в енергопостачанні без порушення цілісності розподільчої мережі.

## **Некоторые особенности токосъема межрегиональных электропоездов**

В.А. Дьяков, Л.Ю. Жирова (ДНУЖТ)

Под токосъемом понимается процесс передачи электрической энергии от линии электропередачи (контактная сеть) потребителю (электрооборудование электроподвижного состава). На электрифицированных железных дорогах токосъем осуществляется контактным способом от контактного провода контактной подвески токоприемнику ЭПС. Надежность токосъема определяется отсутствием повреждений контактной сети и оборудованная ЭПС, которые могут привести к задержке поездов и, как следствие, к большим материальным потерям.

При взаимодействии токоприемников ЭПС с контактной подвеской должен обеспечиваться надежный и экономичный токосъем (минимизация износа контактного

провода и токосъемных элементов токоприемников) с обеспечением экологических требований (радио- и телепомехи, шумовые воздействия, засорение почвы).

Для реализации этих требований при увеличении скоростей движения ЭПС возникает необходимость совершенствования конструкции контактных подвесок и токоприемников ЭПС. Эта задача является актуальной и для электрифицированных железных дорог Украины.

Во второй половине прошлого века при электрификации железных дорог Украины на переменном токе на перегонах была смонтирована компенсированная контактная подвеска, рассчитанная для реализации скоростей ЭПС до 160 км/час. Однако до последнего времени экспериментально проверить надежность токосъема при скоростях движения до 160 км/час не предоставлялось возможности, так как на электрифицированных железных дорогах Украины эксплуатировался ЭПС при скоростях, как правило, не более 120 км/час. И только в 2012 году на стальных магистралях Украины появились электропоезда способные развивать скорость до 160 км/час. В этой связи при взаимодействии токоприемников ЭПС и контактной подвески появились проблемы, которых раньше не существовало из-за более низкой скорости движения ЭПС и наличия пружинного рессорного подвешивания кузовов вагонов подвижного состава.

Современные электропоезда, способные развивать скорость до 160 км/час и более, имеют пневматические рессоры, на которые подвешен кузов вагона. При выходе электропоезда с кривого участка пути на прямой участок оси тележки и кузова вагона могут не совпадать из-за большой инерции баллонов пневматической рессоры, что может привести к сходу контактного провода с рабочей части токоприемника. В настоящее время регулировка контактной подвески осуществляется со съёмных изолирующих вышек и дрезин в статическом положении. Существующие до недавнего времени ЭПС и лаборатории контактной сети (ВИКС), осуществляющие диагностирование контактной сети, имеют пружинные рессорное подвешивание, при котором оси тележки и кузова вагона, с закрепленным на нем токоприемником, совпадают. При выходе вагона с кривого участка пути на прямой, как правило, при таком рессорном подвешивании контактный провод продолжает находиться в пределах рабочей части токоприемника, что не приводит к аварийным ситуациям. В этой связи для обеспечения надежного токосъема с учетом особенности конструкции межрегиональных электропоездов, необходимо осуществлять специальную регулировку контактной подвески или использовать электропоезда типа Allegro, у которых непрерывность подачи питания от контактного провода обеспечивается специальной стойкой токоприемника, жестко опирающегося на ненаклонные балки тележки

### **Исследование электрического влияния тяговой сети переменного тока на физической модели**

Дьяков В. А., Райкевич М. М., (ДНУЗТ)

Тяговая сеть переменного тока, как и однопроводная однофазная линия с возвратом тока через землю, несимметрична и оказывает опасное электромагнитное влияние на смежные линии. Электромагнитному влиянию подвержены воздушные и кабельные линии связи и телеуправления, рельсовые цепи автоблокировки, смежные контактные подвески и т. п., а также неэлектрические, но электропроводящие линии - трубопроводы, эстакады и т. п.

В этой связи актуальным является правильный выбор расчетных схем и выражений для определения электрического и магнитного влияния тяговой сети переменного тока на смежные линии и умение моделировать эти процессы.

Контактная подвеска переменного тока, как и высоковольтная линия электропередачи с расщепленной фазой (ЛЕП 330 кВ и выше), может быть представлена как однопроводная линия с эквивалентным радиусом  $r_k$  (рис.1).

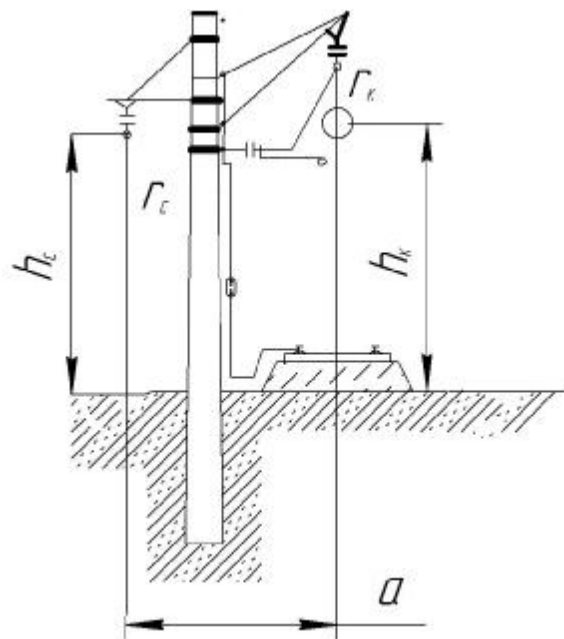


Рис. 1

подвески переменного тока ПБСМ – 95 + МФ – 100 при радиусе контактного провода  $r_{кп} = 0.00615$  м и несущего троса  $r_n = 0.00625$  м эквивалентный радиус контактной подвески будет равен  $r_k = 0.096$  м. В этой связи при определении электрического влияния контактной сети однопутного участка переменного тока на смежную воздушную линию выполненную из провода А-185 ( $r_c = 0.00875$  м) при разной ширине сближения  $a$  (табл. 1) можно сделать вывод, что при определении электрического влияния контактную подвеску в виде расщепленной фазы можно использовать только при  $a \geq 20$  м. В противном случае необходимо учитывать реальную конструкцию контактной подвески.

Таблица 1

- Индуцированные напряжения  $U_c^3$

Расчетная схема	$a, \text{ м}$					
	5	10	20	50	70	100
Расщепленная фаза	4959	2553	949	180	94	46
Реальная конфигурация	5300	2658	970	182	94	47

В лаборатории «ТВН» ДНУЖТ (ДИИТ) были проведены исследования электрического влияния на физической модели. Результаты исследования показали (табл.2), что результаты расчета и измерений не совпадают, т. к. на результаты измерений существенное влияние оказывает «паразитная» емкость киловольтметра С-96 ( $C_{\pi} \cong 34 \cdot 10^{-12}$  Ф), а собственная емкость смежной линии по отношению к земле  $C_{c0} = 22.5 \cdot 10^{-12}$  Ф.

Таблица 2

$U_1$ , кВ		20	25	30
$U_2$ , кВ	Расчет	6.56	8.2	9.84
	Измерение	3.3	4.1	4.6

Тем не менее, такие исследования оказывают неоценимую помощь студентам при изучении дисциплины «Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте», в результате которых студенты приобретают практические навыки по расчету электрического влияния и измерению наведенных напряжений.

### **Электромагнитная совместимость устройств тягового электроснабжения и СЦБ в зоне стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов.**

Дьяков В. А., Кузнецов В. Г. (ДИИТ, г. Днепропетровск),  
Дьяков А. В. (ДТЭК Днепрооблэнерго.)

В настоящее время в большинстве стран мира электрификация железных дорог осуществляется на переменном токе преимущественно напряжением 25 кВ (50 Гц), 15 кВ (16,7 Гц) и на постоянном токе напряжением 3 кВ и 1,5 кВ. Стыкование электрифицированных участков разного рода тока и разного уровня напряжения осуществляется с использованием тепловозных вставок, станций стыкования и нейтральных вставок с использованием многосистемных электровозов и электропоездов. Последняя схема нашла широкое распространение в странах Западной Европы. На Украине, как правило, используются станции стыкования (Иловыйск, Пятихатки–Стыковая, Львов и др.) и только на участках Купянск – Харьков, Купянск–Святогорск, Полтава – Харьков и Полтава – Лозовая используются двухсистемные электровозы (25 кВ переменного тока/3 кВ постоянного тока) ВЛ-82М и в настоящее время межрегиональные поезда компаний: Hyundai–Rotem, Skoda Vagonka. При проследовании двухсистемными электровозами и электропоездами нейтральных вставок скорость не снижается, что даёт большое преимущество применения многосистемных электровозов и электропоездов перед традиционной схемой стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов с использованием станций стыкования.

Однако независимо от способа стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов, постоянные токи затекая на электрифицированные участки переменного тока насыщают магнитопровод путевых дроссель-трансформаторов ДТ-1-150, что может привести к отказам в работе рельсовых цепей СЦБ. Исследования, проведенные сотрудниками ДИИТа совместно с ДЭЛ Приднепровской ж.д. в зоне станций стыкования показали, что при увеличении переходного сопротивления «рельс-земля» в зимний период тяговые постоянные токи затекают на электрифицированный участок переменного тока на расстояние более 30 км от станции стыкования, что при асимметрии параметров рельсовой цепи (продольное сопротивление рельсов и переходное сопротивление «рельс-земля») может являться одной из причин сбоев в работе устройств СЦБ. Кроме того, тяговые постоянные токи на электрифицированных участках

переменного тока могут вызывать коррозионное повреждение арматуры железобетонных опор и фундаментов контактной сети, железобетонных шпал, подошвы рельсов и рельсовых скреплений и т.п.

В настоящее время в существующих нормативных документах не оговорены дополнительные требования по противокоррозионной защите железобетонных опор на электрифицированных железных дорогах переменного тока, примыкающих к станциям стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов.

Для обеспечения нормальной работы СЦБ на электрифицированных железных дорогах переменного тока не требуется установка в заземляющие спуски железобетонных опор с сопротивлением более 100 Ом специальных защитных устройств, препятствующих утечке сигнального тока с рельсов через тело опоры в землю. Если же сопротивление опоры менее 100 Ом, то её заземление на рельсы следует производить через специальные защитные устройства, препятствующие утечке сигнального тока с рельсов: искровые промежутки, диодные заземлители с последовательно включёнными искровыми промежутками. В тоже время, проведенные кафедрой электроснабжения железных дорог ДИИТа совместно с ДЭЛ Приднепровской ж.д. исследования в зоне станции стыкования показали, что тяговый постоянный ток затекает на электрифицированные участки переменного тока и стекая с заземленных железобетонных опор в грунт может вызвать коррозионное разрушение арматуры опор.

Результаты измерения средних значений потенциалов «рельс-земля» подтвердили результаты расчётов и позволяют сделать вывод, что тяговые постоянные токи достаточно далеко проникают на полигон электрифицированных участков переменного тока. Это вызывает угрозу коррозионного повреждения железобетонных опор контактной сети заземлённых на рельсы без установки защитных устройств в заземляющие спуски. В этой связи, для обеспечения противокоррозионной защиты железобетонных опор на электрифицированных железных дорогах переменного тока независимо от сопротивления опор необходимо в заземляющие спуски устанавливать защитные устройства, предусмотренные для противокоррозионной защиты железобетонных опор на электрифицированных железных дорогах постоянного тока. Величина допустимой утечки тягового постоянного тока с железобетонной опоры в грунт в зависимости от мощности опоры колеблется от 20 до 40 мА, что соответствует потенциалу «рельс-земля» 2...4 В при сопротивлении опоры 100 Ом.

Практически исключается коррозионное повреждение железобетонных опор и фундаментов контактной сети разземлением опор. Такое мероприятие применяют на электрифицированных участках переменного тока России. А для обеспечения надёжной работы защиты от токов короткого замыкания при перекрытии изоляторов контактной сети опоры объединяют тросом группового заземления и на стадии изготовления в фундаментную часть железобетонных опор закладывают дополнительно арматуру, что позволяет существенно снизить сопротивление растеканию опор контактной сети. Разземление опор позволяет снизить асимметрию параметров рельсовой цепи, что позволяет повысить надёжность работы устройств СЦБ.

Таким образом, усовершенствование противокоррозионной защиты опор переменного тока в зонах стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов должно осуществляться комплексом мер, разработанных в результате проведения необходимых исследований.

## **Автоматическая система мониторинга состояния контактных соединений высоковольтного оборудования**

Дьяченко М.Д., Тесля Ю.А.

Приазовский государственный технический университет

Одной из причин возникновения аварийных ситуаций в системах электроснабжения является нарушение высоковольтных контактных соединений. Нарушение контактного соединения приводит либо к обрыву проводника, либо к возгоранию оборудования.

В настоящее время для контроля технического состояния высоковольтных контактных соединений применяют метод периодического тепловизионного контроля либо визуального контроля отпадающих цветных плавящихся указателей и термоиндикаторных красок. Такой контроль на территории подстанции не вызывает больших проблем, но на большей протяженности линий электропередач становится весьма затратным.

Кроме того такой метод контроля нельзя считать оптимальным, так как нагрев болтовых соединений зависит в основном от тока нагрузки, а при периодическом контроле нельзя быть уверенным, что в момент контроля ток максимален. Процесс развития дефекта в болтовом контактном соединении, как правило, протекает достаточно длительно и зависит от ряда факторов, таких как: ток нагрузки, режим работы (стабильная нагрузка или переменная), воздействия химических реагентов, ветровых нагрузок, усилий затяжки болтов, наличия стабилизации давления контактов и др..

Следовательно, для повышения надежности соединений необходима система непрерывного мониторинга их состояния. Для повышения надежности высоковольтных болтовых соединений в частности и энергосистемы в целом предложена система автоматического мониторинга состояния высоковольтных контактных соединений.

Система состоит из множества интеллектуальных модулей, расположенных непосредственно на контактном соединении и непрерывно измеряющий температуру и переходное сопротивление соединения. Питание самого устройства осуществляется за счет отбора энергии передаваемой через соединение. Микропроцессор модуля контроля имеет непрерывную связь с такими же модулями, расположенными на других контактных соединениях через маломощный приемопередатчик пакетной радиосвязи, работающий в безлицензионном диапазоне частот.

В основу организации информационной сети положена концепция самоорганизующихся беспроводных сенсорных сетей WSN (Wireless Sensor Network), в которой каждый интеллектуальный модуль выполняет функцию маршрутизатора, решая задачу построения оптимального маршрута передачи данных на центральный диспетчерский пункт в условиях изменения конфигурации сети за счет изменения условий работы приемопередающей аппаратуры. Такое решение в построении радиосети позволяет с использованием трансивера пакетной связи малой мощности (15÷40мВт) обеспечить охват линий электропередачи протяженностью во многие сотни километров, обеспечивая при этом непрерывный контроль каждого высоковольтного контактного соединения.

Предложенная система позволяет непрерывно в режиме квазиреального масштаба времени контролировать каждое высоковольтное контактное соединение энергосистемы, прогнозировать деградационный отказ каждого из них и тем самым повысить надежность электроснабжения в целом. По предварительной оценке капитальные вложения от использования данной системы окупаются менее чем за 1,5 года.

## **Підвищення ефективності тягового електропостачання раціональною стратегією діагностики та ремонту.**

Єліна М.С., ДНУЗТ

Через складності об'єктів електропостачання і процесів забезпечення роботи транспорту і тягових підстанцій (ТП), дослідження властивостей цих об'єктів і процесів лежить в області розробки і розвитку математичних моделей, різних методів і комплексів програм. Серед складних технічних пристроїв, що вимагають діагностування при експлуатації, електроенергетичне обладнання високої напруги (високовольтне обладнання) займає особливе місце. Це обладнання схильне до комплексного впливу сильних електричних, електромагнітних і теплових полів та електродинамічних зусиль. У зв'язку з цим електрообладнання піддається ризику утворення дефектів, несправностей і відмов.

Часто більшість пошкоджень обумовлена незначним числом типів устаткування. З'ясувавши причини появи істотно важливих відмов, можна усунути майже всі простої, зосередивши зусилля на ліквідації саме цих причин. Такого роду проблеми можна успішно вирішувати за допомогою діаграм Парето, що дозволяють виявити важливі чинники, що роблять найбільший вплив на відмови, з тим аби зосередити першочергові зусилля на усунення їх впливу.

Найбільш проблемним видами устаткування, на які доводиться до 80 % пошкоджень, є вимикачі та силові трансформатори.

Для вирішення цих проблем пропонуються сучасні системи діагностики і технічного обслуговування. Кожен використовуваний в системі моніторингу метод діагностики обладнання повинен бути оснащений вбудованою експертною системою, що працює в автоматичному режимі. Така вимога визначається практичним призначенням систем діагностичного моніторингу, коли діагностичний висновок про поточний технічний стан обладнання повинний оперативно формуватися «on-site» (на місці), і повинний бути відразу ж доступний оперативному та ремонтному персоналу підприємства. Найбільш важливим елементом системи діагностичного моніторингу єдиного технологічного ланцюга енергетичного підприємства є експертна система верхнього рівня. Саме ця система повинна інтегрувати інформацію від декількох методів діагностики, працюючих з певною одиницею обладнання. На підставі цієї, порівняльної, оцінки всього енергетичного обладнання можна буде вирішити найголовніше завдання діагностичного моніторингу - виявити критичні місця в єдиному технологічному ланцюзі всього енергетичного об'єкта та сформувати порівняльний висновок про технічний стан кожної ланки контрольованої підстанції, на підставі якого мають плануватися всі ремонтні та сервісні роботи.

Напрямок підвищення ефективності оперативного управління систем тягового електропостачання полягає у використанні сучасних технологій управління режимами електроенергетичних систем, що базуються на використанні активно-адаптивних і інтелектуальних електричних мереж.

### **Приближенные методы оценки значений показателей качества электроэнергии**

Жежеленко И.В., д.т.н., проф., Саенко Ю.Л., д.т.н., проф., Бараненко Т.К., к.т.н., доц., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

В последнее десятилетие резко возрос интерес к проблеме оценки качества электроэнергии (КЭ) и решению вопроса соответствия уровня КЭ согласно требованиям



ГОСТ13109-97 в Украине либо ГОСТР54149 2010 в России. Сказанное объясняется бурным прогрессом технологий, интенсивным внедрением устройств силовой преобразовательной техники с одной стороны и все возрастающим уровнем электромагнитных помех (ЭМП) – с другой. К сожалению, уровень коррекции помех значительно уступает уровню прогресса новых технологий.

Для решения вопроса минимизации показателей качества электроэнергии (ПКЭ) необходима оценка уровня ЭМП и обусловленного им экономического ущерба. В конце 1989 г. рядом организаций был определен интегральный ущерб, связанный с низким КЭ в масштабе СССР. Он был оценен величиной 10 млрд. долл. в ценах конца прошлого века. К сожалению, в настоящее время в странах СНГ отсутствует возможность такой оценки ущерба, так как это связано с исследованиями на конкретных предприятиях, в энергосистемах, в тяговых сетях и др. Известные значения ежегодных потерь, обусловленных низким КЭ, найдены методом экспертных оценок. Так, в США ежегодные потери от низкого КЭ оцениваются величиной 50 млрд. долл., в России (в её нынешних географических границах) – 25 млрд. долл. Представляет несомненный интерес оценить предполагаемую сумму ущерба в масштабах государства Украины. В этом случае прибегнем к оценочным методам.

В практике эксплуатации и проектирования электрических сетей и систем в ряде случаев возникает необходимость приближенной оценки параметров режимов, стоимости электрооборудования, расчетов между поставщиками и потребителями электроэнергии и т.д., то есть оценки порядка соответствующих величин с последующим уточняющим расчетом. Это тем более допустимо, что, например, для принятия проектного решения по капитальному ремонту, по реконструкции объектов, стоимости объекта и др. в ряде случаев используются так называемые укрупненные показатели, которые, естественно, позволяют получить лишь приближенное (оценочное) значение. В условиях эксплуатации принятие таких решений возможно, например, при различного рода нештатных ситуациях.

Оценочные методы, как правило, основываются на аналогиях, подобиях процессов, известных особенностей взаимного влияния отдельных видов электрооборудования и т.д. При этом, как правило, совокупность различного вида электрооборудования (двигателей, генераторов, трансформаторов и т.д.) рассматривается как единое физическое тело с параметрами, являющимися суммой отдельных единиц, т.е. оценивается усреднено. Изменения количества электрооборудования того или иного вида учитываются соответствующим изменением электропотребления; при этом «киловатты» и «квары» суммируются арифметически. Применяются также укрупненные показатели известных видов оборудования.

В оценочных методах используются известные методы эквивалентирования. В целом можно сказать, что использование оценочных методов позволяет определить порядок исследуемых параметров, например, экономического ущерба.

Методы расчета ПКЭ являются по сути своей приближенными, т.е. оценочными, тем более, что неполнота и некорректность исходной информации, как правило, очевидна. В еще большей мере это относится к эквивалентированию.

## **Разработка методики оценки дополнительных потерь мощности в электрических сетях при известном уровне несинусоидальности**

Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К.  
ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Одним из важнейших технико-экономических показателей электрических сетей является величина потерь электроэнергии при ее транспортировке от мест производства до мест потребления. В связи с тем, что электрическая энергия является специфическим видом продукции, при ее передаче потери неизбежны. Поэтому возникает задача, заключающаяся в определении экономически обоснованного уровня потерь.

В электрических сетях большинства стран потери электроэнергии при ее передаче и распределении не превышают 5-8 %, что считается удовлетворительным. В Украине на сегодняшний день в целом потери электроэнергии составляют до 15 %, в отдельных областях потери электроэнергии достигают 25 %. Такой уровень потерь требует разработки комплекса мероприятий по их снижению. В этот комплекс мероприятий должны входить как соответствующие государственные программы, так и решение конкретных задач по снижению отдельных составляющих технологических и коммерческих потерь. Для корректного решения таких задач необходимо знать конкретные величины структурных составляющих потерь.

Известно, что несинусоидальные режимы в питающих электрических сетях вызывают дополнительные потери в электрооборудовании. Вопрос оценки доли таких потерь в общих потерях является малоисследованным, что связано в первую очередь со сложностью расчета потерь на частотах гармоник в отдельных элементах систем электроснабжения, особенно при наличии интергармоник. Таким образом, представляется целесообразным разработать инженерную методику по оценке дополнительных потерь при несинусоидальных режимах по известному значению коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения. В эксплуатационной практике этот коэффициент может быть как измерен, так и рассчитан в характерных узлах системы электроснабжения. Особенностью предложенной методики является обязательный учет интергармоник при наличии соответствующих источников. Оценка дополнительных потерь мощности на частотах гармоник необходима как для уточнения потерь электроэнергии в электрических сетях предприятий и энергосистем, так и для оценки срока службы электрооборудования.

Многочисленные исследования показали, что независимо от источников искажений при одинаковых коэффициентах несинусоидальности в узлах электрических сетей величины суммарных дополнительных потерь практически одинаковы. Учитывая этот факт, а также очевидную квадратичную зависимость между величинами суммарных дополнительных потерь и соответствующим коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения предлагается оценивать величину суммарных дополнительных потерь в относительных единицах по следующему выражению

$$\Delta P_{\Sigma*} = k_{\text{пот}} K_{U*}^2,$$

где  $k_{\text{пот}}$  – коэффициент потерь;  $K_{U*}$  – относительное значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в рассматриваемом узле электрической сети.

Очевидно, что величина коэффициента потерь будет зависеть от конфигурации схемы и состава электрооборудования. Тогда для инженерной оценки дополнительных потерь мощности, связанных с несинусоидальными режимами, можно использовать коэффициенты потерь для различных типовых схем электроснабжения с типовым составом электрооборудования. Для определения соответствующих коэффициентов потерь необходимо провести ряд дополнительных исследований, в том числе путем измерений в условиях эксплуатации.

## Особенности расчета силового трансформатора повышенной частоты

Забарило Д. А. (ДИИТ, г. Днепропетровск)

Трансформатор является наиболее громоздким элементом в преобразовательных цепях источников питания. К тому же рост цен на цветные металлы делает трансформатор одним из наиболее дорогостоящих элементов в преобразовательной технике. При этом быстрыми темпами идет усовершенствование элементов силовой электроники, что позволяет снизить их стоимость и достичь высокой степени интеграции, т. е. уменьшить габариты. Поэтому для повышения компактности и снижения стоимости преобразователя в целом, проводятся исследования, направленные на снижение массогабаритных показателей трансформатора.

Существует три основных способа повышения компактности трансформатора:

- 1) применение сверхпроводящих обмоток;
- 2) применение для магнитопровода новых материалов с большей индукцией насыщения;
- 3) повышение рабочей частоты напряжения.

На практике наибольшее применение получил последний способ. Он предполагает использование безтрансформаторного входа со стороны источника переменного напряжения. Вместо трансформатора на входе преобразователя используется выпрямитель. Далее выпрямленное напряжение сглаживается и инвертируется в переменное напряжение, которое питает обмотки трансформатора. При этом частота переменного напряжения превышает промышленную частоту (т. е. частоту напряжения на входе выпрямителя).

Большинство сердечников трансформаторов выполняются из электротехнической стали или ферритов. Маломощные трансформаторы, магнитопровод которых выполнен из электротехнической стали, могут работать на частотах до десятков килогерц. Мощные (силовые, тяговые) трансформаторы излучают сильные магнитные поля, а сердечники их работают почти с максимальной индукцией насыщения (1,7...1,9 Тл) электротехнической стали. Поэтому диапазон рабочих частот мощных трансформаторов значительно меньше, чем у маломощных, что обусловлено значительным ростом потерь в стали с повышением частоты при постоянном значении индукции. Применение сердечников из аморфных сплавов позволит снизить потери холостого хода и повысить рабочую частоту трансформатора.

Обмотки мощного трансформатора обладают значительной индуктивностью и малым активным сопротивлением, что приводит к задержке нарастания тока в обмотках, и выражается постоянной времени. Поэтому на высоких частотах при больших значениях постоянной времени ток может возрасти лишь до определенного значения. А это значит, что реальный ток может не достичь заданного тока.

Разработанная методика позволит определить максимальное значение тока в обмотках высокочастотного трансформатора с учетом его RL-параметров. Это позволит сравнить величину заданного тока с возможным в зависимости от напряжения короткого замыкания и частоты приложенного напряжения при прочих заданных параметрах.

## Принципи фінансової безпеки підприємств транспорту

Каламбет С.В., професор кафедри «Фінанси та банківська справа»,  
Півняк Ю.В., доцент кафедри «Фінанси та банківська справа»  
ДНУЗТ ім. В. Лазаряна

Фінансова безпека є системою, яка являє собою сукупність фінансових важелів і методів нейтралізації кризових явищ та забезпечення стабільної і ефективної діяльності підприємств залізничного транспорту та має вирішувати такі завдання:

1. Здійснення моніторингу фінансового стану суб'єкта підприємництва з метою раннього виявлення ознак його кризового розвитку;
2. Визначення масштабів кризового стану;
3. Дослідження основних факторів, що обумовлюють кризовий розвиток суб'єкта підприємництва;
4. Створення і реалізація заходів щодо запобігання криз;
5. Контроль за виконанням антикризових заходів і оцінка отриманих результатів;
6. Забезпечення стабільної та ефективної діяльності суб'єкта підприємництва як у короткостроковому, так і довгостроковому періодах.

Слід відзначити, що втрата контролю над станом кризового середовища призводить до розвитку кризових ситуацій на підприємстві і в кінцевому підсумку може спричинити його банкрутство. Головною проблемою, на наш погляд, є те, що досить часто про необхідність фінансової безпеки згадують вже за фактом виникнення кризових ситуацій. Тому вважаємо, що необхідно інтегрувати систему фінансової безпеки безпосередньо у господарський механізм підприємства. Це дасть можливість здійснювати не тільки заходи з нейтралізації криз і, відповідно, попередження банкрутства, але й здійснювати поточний моніторинг його кризового середовища з метою максимально швидкого реагування на виникаючі загрози. Також це дає можливість впливати на ефективність діяльності підприємства шляхом оптимізації фінансового управління.

Система фінансової безпеки підприємства має базуватися на принципах, вказаних у табл. 1.

Таблиця 1. – Принципи фінансової безпеки підприємств залізничного транспорту

Принцип	Сутність принципу
Мінливості	обумовлює необхідність здійснення діагностичних, а також превентивних заходів щодо забезпечення стабільної та ефективної діяльності
Об'єктивності	обумовлює, що оцінювання ймовірності втрати фінансової рівноваги та настання кризи, необхідно здійснювати з урахуванням лише методики аналізу та поточної ситуації на підприємстві та ринкової кон'юнктури
Обачності	передбачає формування суджень, що запобігають уникнути завищення чи заниження ймовірності настання кризи, чи втрати фінансової рівноваги
Безперервності й оперативності	забезпечення фінансової безпеки має здійснюватись на постійній основі, щоб вчасно відреагувати на появу негативних факторів, що можуть спричинити за собою виникнення кризових ситуацій
Конфіденційності	результати діагностики на предмет ймовірності настання криз та втрати фінансової рівноваги повинні бути комерційною таємницею
Комплексності і	передбачає оцінювання фінансової ситуації як взаємодію комплексу

системності	змінних усередині підприємства, відслідковуючи при цьому вплив зовнішнього середовища та його трансформації
Явності в інтерпретації результатів	результати аналізу та рекомендації щодо забезпечення фінансової безпеки підприємства мають бути чіткими, щоб уникнути неправильного їх розуміння і, як наслідок, хибних дій з боку менеджерів

Враховуючи вищезазначене, можемо сформулювати визначення системи фінансової безпеки підприємства залізничного транспорту як сукупність взаємопов'язаних діагностичних, інструментальних та контрольних заходів фінансового характеру, що мають оптимізувати використання фінансових ресурсів, забезпечити належний їх рівень та нівелювати вплив ризиків внутрішнього і зовнішнього середовищ.

### **Опыт производства полимерных изоляторов на основе жидкой кремнийорганической резины**

Ким Ен Дар (УИПА); Назаренко А.В., Карюк Д.Г. (Славэнергопром)

Исторически так сложилось, что в настоящее время большинство производителей высоковольтных полимерных линейных изоляторов применяют высокотемпературную силиконовую резину НТВ. Эта резина в исходном состоянии обладает высокой вязкостью, из-за чего называют также твердой резиной. При формировании защитной оболочки она инжектируется в пресс-форму при высоком давлении, порядка 150-250 бар и полимеризация, например, изоляторов на 110 кВ осуществляется на 400-500 тонных машинах.

Стремление улучшить технологические параметры производства полимерных изоляторов привело к созданию двухкомпонентных эластомеров LSR, жидкой силиконовой резины, как альтернатива к твердой резине. Низкая вязкость сырья из жидких резин позволяет при относительно невысоком избыточном давлении (не более 50 бар) заполнить литьевые формы изготавливаемого изделия, при этом, практически не подвергая к деформации несущего элемента – стеклопластиковые элементы. Вследствие этого достигается полное соответствие готового изолятора с его конструкторской документацией, а также исключается наличие воздушных щелей между оболочкой, несущим диэлектриком и металлическими оконцевателями.

Технические характеристики у современных жидких резин несколько не уступают, а по некоторые параметры даже превосходят характеристики твердых резин. Следует отметить, что согласно квалификации силиконовых резин по температуре вулканизации, предложенной в публикации CIGRE 1996;33-303, жидкую резину следует отнести к силиконам типа НТВ, ассоциируемым и воспринимаемым как твердая резина.

Из опыта эксплуатации известно, что наиболее слабым местом для линейных изоляторов является узел тройной связи: оконцеватель – стеклопластиковый стержень – защитная оболочка. Нарушение адгезии между оболочкой и металлом приводит к разгерметизации этого узла, к последующему проникновению атмосферной влаги до поверхности стеклопластикового стержня, образованию электрических разрядов вдоль границы стержень – оболочка, что характеризуется как начало электрического пробоя изолятора.

При использовании жидкой резины в качестве защитной оболочки удастся усилить защиту слабого узла от внешнего воздействия. Например, торцевая часть оконцевателя выполняется в виде кольцевого выступа с закругленным профилем и при этом сам выступ

покрывається тонким шаром гуми. Цей шар товщиною не більше 2мм створюється монолітно з загальним тілом захисної оболонки ізолятора завдяки великій текучості вихідного матеріалу і еластичності кінцевого продукту. Більш глибока захист слабкого ділянки в ізоляторі може бути досягнута, передбачив внутрішню проточку в торцевої частини оконцевателя і монолітним заповненням тонкої щіли гумою.

Слід виділити одного з великих виробників лінійних полімерних ізоляторів, який з моменту створення був орієнтований на застосування рідкої гуми, Furukawa Electric Composite. Масове виробництво полімерних ізоляторів було почато в 1982 році, і за останні 15 років кількість лінійних ізоляторів класу до 400 кВ включительно з рідкої кремнієвої гуми виробництва цієї компанії перевищило 1 мільйон штук.

Нове підприємство полімерних ізоляторів «Славенергопром» засноване на застосування рідкої гуми. Починаючи з 2007 р. по теперішній час їм було поставлено: в контактну мережу ЖД більше 70 000 шт. ізоляторів; в різні енергокомпанії 55 000 шт. лінійних ізоляторів на 10-330 кВ; більше 11 000 шт. опорних ізоляторів на 10-150 кВ; близько 2 000 шт. проходних ізоляторів на 10 і 35 кВ з номінальними токами 630-2000 А. Почато освоєння і виробництво обмежувачів перенапружень на 3-150 кВ.

### **Підвищення енергоефективності живлення пристроїв автоблокування.**

Косарев Є.М., ДНУЗТ

Для підвищення енергоефективності живлення пристроїв залізничної автоматики, поліпшення електромагнітної обстановки і зниження рівня вищих гармонік існують два основні методи: поліпшення форми кривої струму, споживаного нелінійним навантаженням з живлячої мережі, і раціональна побудова мережі.

У теперішній час з розвитком силової напівпровідникової апаратури і мікропроцесорної техніки широкого розповсюдження набули силові активні фільтри (САФ). Активна фільтрація представляє собою методологію компенсації гармонік, на відміну їх придушення (зменшення) в згладжуючому фільтрі.

Силові активні фільтри компенсують гармоніки струму шляхом введення рівного, але протилежного гармонійного, струму компенсації. У цьому випадку силовий активний фільтр діє як джерело струму, що вводить гармоніки, які генеруються навантаженням, але із зсувом по фазі на  $180^\circ$ . В результаті компоненти гармонійних струмів, що містяться в струмі навантаження придушуються під дією активного фільтру, а струм джерела залишається синусоїдальним і у фазі з відповідною фазною напругою. Цей принцип можна застосувати до будь-якого типу навантаження. Крім того, з відповідною схемою управління активний фільтр може компенсувати реактивну потужність. Таким чином, система розподілу електроенергії сприймає нелінійне навантаження і активний фільтр як ідеальний резистор.

Є багато можливостей для визначення опорного струму, необхідного для компенсації нелінійних навантажень. Як правило, активні фільтри використовуються для компенсації реактивної потужності та гармонійного струму низької частоти, що генерується нелінійними навантаженнями. Однією з альтернатив для визначення опорного струму інвертора є використання теорії миттєвої реактивної потужності –  $pq$  теорії, запропонованої Акадзі. Ця концепція дуже популярна і корисна, і в основному складається із переходу від системи відліку  $a, b, c$  до миттєвої потужності, напруги і струму сигналів  $\alpha$  і  $\beta$ . Перевагою  $pq$  теорії є те, що активна і реактивна потужності, пов'язані з основними компонентами в постійних кількостях. Ці величини можуть бути

вилучені за допомогою фільтра низьких частот. Оскільки сигнал для вилучення є постійним, то його фільтрація в  $\alpha$ ,  $\beta$  координатах нечутлива до помилок зсуву фази, внесених фільтром нижніх частот, що поліпшує компенсаційні характеристики активного фільтру.

Велика частина технічних питань модуляції, що використовується в активних фільтрах залежить від стратегії ШІМ, яка має велике різноманіття методів для покращення конструктивних характеристик регуляторів струму.

Як накопичувач енергії на стороні постійного струму активного фільтру найчастіше використовується ємнісний елемент. Перехідні зміни миттєвої потужності, що споживається навантаженням генерують коливання напруги на конденсаторі. Амплітудою цих коливань напруги можна ефективно керувати за допомогою відповідного значення ємності конденсатора. Необхідно відзначити, що контроль напруги петлі постійного струму стабілізує напругу на конденсаторі після декількох циклів, але не досить швидко, щоб обмежити перші варіації напруги. Значення ємності конденсатора, отримане за цим критерієм більше, ніж значення, отримане на основі максимального обмеження пульсації напруги постійного струму. З цієї причини напруга на конденсаторі має менший коефіцієнт нелінійних викривлень.

САФ дозволяє досягти високої якості в компенсації гармонійних складових струму і реактивної потужності навантаження без додаткових компенсуючих пристроїв. До переваг також відносяться малі розміри і висока надійність роботи фільтра пов'язані з використанням сучасних напівпровідникових елементів, легкість зміни параметрів і характеристик фільтра, що здійснюється модифікацією програмного забезпечення, можливість реалізації адаптивних фільтрів зі змінними в процесі роботи параметрами.

### **Уточнення основних категорій потенціалу вітроенергетичних ресурсів для урбанізованої місцевості**

Кравець А.С., Перцевий В.О. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Розрахунок основних категорій потенціалу вітроенергетичних ресурсів виконано для міста Маріуполь.

Проведено статистичну обробку зміни швидкості та напрямку вітру на висоті вимірювання, що дорівнює 10м.

Виконано розрахунок середніх значень швидкості вітру за градаціями.

На основі статистичної обробки кліматичних даних розраховано фактичну диференційну повторюваність середніх за градаціями значень швидкості вітру та повторюваність напрямків вітру за вісьмома характерними румбами.

Виконано розрахунок середньорічної швидкості повітря для міста Маріуполь.

Аналіз графіку фактичної диференційної повторюваність середніх за градаціями значень швидкості вітру та повторюваність напрямків вітру за вісьмома характерними румбами свідчить про те, що він є одномодальним, тобто для його аналітичного описання можливе застосування закону розподілення Вейбула-Гудріча.

Виконано уточнення параметрів та розподілення Вейбула-Гудріча шляхом розв'язання системи трансцендентних рівнянь.

Визначено типи та основні конструктивні та енергетичні характеристики вітроенергетичних установок, які є найбільш пристосованими для використання на будівлях, які розташовані у забудові.

Визначено розрахункові швидкості повітря для вітроенергетичних установок та очікувану кількість годин використання встановленої потужності вітроенергетичних установок.

Проведено розрахунок визначення питомої потужності повітряного потоку та потужності вітру в місті Маріуполь.

Виконано розрахунок валового питомого потенціалу вітрової енергії для міста Маріуполь.

Виконано розрахунок частоти коливань лопатей вітроенергетичних установок та частоти власних коливань будівель, потенційно придатних для розташування в їх конструкціях вітроенергетичних установок, зокрема будівлі філії ДП "УкрдіпроМез".

Виконано розрахунок вітрового навантаження на будівлі, які розташовані у забудові.

За допомогою моделі великомасштабної турбулентності Спаларта-Алмараса визначено кількісні та енергетичні характеристики вихорів, які утворюються на кутах та даху будівель.

За допомогою моделі великомасштабної турбулентності Спаларта-Алмараса визначено геометричні та енергетичні характеристики вихорів, що утворюються на лопатях вітроенергетичних установок та їх вплив на коливання лопатей вітроенергетичних установок.

Виконано аналіз витрат на виробництво електроенергії за допомогою вітроенергетичних установок.

Виконано розрахунок середньої собівартості електроенергії, яка виробляється на вітроенергетичних установках.

Розрахунок собівартості електроенергії, яка виробляється на вітроенергетичних установках виконано без урахування зміни вартості грошей.

### **Підвищення ефективності та довговічності гальмових колодок**

Кравченко К.О., Просвірова О.В. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ

Гальма локомотива працюють в умовах сухого тертя, втрати металу від інтенсивного зношування максимальні. Зношування однієї гальмової колодки при середній масі 15- 16 кг при пробігу 30 тис.км становить 11-12 кг. Проблема ресурсозабезпечення колодкових гальм, якими обладнані локомотиви багатоплановий. Вона потребує рішення техніко-економічних, технологічних, металознавчих, трибологічних знань, пов'язаних з вибором зносостійких матеріалів для робочої поверхні колодки. Одним з основних завдань є застосування шляхів зменшення зношування тертьових поверхонь.

Сьогодні для підвищення ефективності та довговічності гальмівних колодок використовують секційні колодок при гальмуванні, що забезпечує збільшення площі контакту взаємодіючих елементів та зниження тиску в області контакту. Але таке рішення не дозволяє в достатній мірі забезпечити ефективність гальмування. Це пов'язано із тим, що при гальмуванні відбувається нагрів контакту трибологічної пари, а у способі не передбачено його охолодження, тим самим знижуються фрикційні можливості колодки й провокується підвищений знос пари тертя.

Пропонується при гальмуванні в зону контакту пари тертя вводити активне газоподібне середовище. Це можливо реалізувати при використанні в конструкції гальмівних колодок вставок з порофорів.

В такому випадку при гальмуванні залізничного рухомого складу колодки притискаються до колеса або диску. Температура в трибопарі підвищується. Під дією



температури в колодці починається процес термічного розкладання елементів колодки порофорів, що приводить до виділення з великою швидкістю значної кількості газових продуктів. Одним з основних продуктів розкладу є газ – азот, який взаємодіє з тонкими поверхневими шарами фрикційних вузлів. Це позитивно впливає на фрикційні властивості пари тертя – підвищує коефіцієнт зчеплення, різко змінює і стабілізує поверхню матеріалів, тим самим підвищуючи їх довговічність та зносостійкість.

Таке рішення дозволяє:

1. Зменшити температуру в трибоконтакті;
2. Підвищити довговічність гальмівної колодки;
3. Підвищити коефіцієнт тертя робочих взаємодіючих поверхонь, чим забезпечити ефективність гальмування транспортного засобу;
4. Зменшити знос фрикційних вузлів;
5. Підвищити безпеку руху.

### **Концепція побудови верхнього рівня системи АСКОЕ в умовах реформування залізничної галузі України**

Крупінський О.М., Укрзалізниця

Відповідно до Закону України від 23.02.2012 № 4442-VI «Про особливості утворення публічного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування» передбачає створення публічного акціонерного товариства на базі Державної адміністрації залізничного транспорту України та залізниць України шляхом злиття.

В зв'язку зі створенням ПАТ «Укрзалізниця» шляхом злиття всіх залізниць, членів ОРЕ, які вже побудували системи АСКОЕ та зареєстрували їх відповідним чином у Головного оператора виникає необхідність побудови верхнього рівня АСКОЕ Укрзалізниці (далі АСКОЕ УЗ).

Верхній рівень АСКОЕ УЗ повинен передбачати передачу вже узгоджених з суміжними ліцензіатами даних з АСКОЕ регіонального рівня шести регіональних філій (теперішніх залізниць) до АСКОЕ Головного оператора - ДП «Енергоринок» та суміжних ліцензіатів від одного ліцензіата ПАТ «Укрзалізниця» (малюнок № 1).

АСКОЕ УЗ призначена для розрахунків з Головним оператором ОРЕ за спожиту електроенергію, шляхом формування єдиного макету та передачі його до ДП «Енергоринок» і суміжних ліцензіатів, а також централізованого зберігання, обробки, контролю, аналізу споживання і перетоків електроенергії, контролю потужності в електричних мережах залізниць України.

Автоматизована система АСКОЕ АТ УЗ повинна створюватися в результаті інтеграції існуючих регіональних АСКОЕ залізниць, за структурою трьох рівневої системи (малюнок № 2):

- перший рівень - власні об'єкти обліку електроенергії - відомчі електричні підстанції залізниць, на яких встановлені локальні системи обліку електроенергії (ЛСОЕ), до першого рівня також відносяться сторонні об'єкти обліку електроенергії - електричні підстанції і об'єкти сторонніх суміжних організацій, на яких встановлені комерційні прилади обліку електроенергії залізниць;

- другий рівень - регіональні системи обліку електроенергії (РСОЕ) - програмно-апаратні комплекси, які концентрують інформацію про облік електроенергії в масштабах окремої залізниці, до другого рівня також відносяться об'єкти розміщення автоматизованих робочих місць (АРМ);

- третій рівень - центральна система обліку електроенергії ПАТ «Укрзалізниця» (ЦСОЕ) - програмно-апаратний комплекс, який концентрує інформацію про облік електроенергії в масштабах всієї залізничної мережі України.

Метою створення автоматизованої системи АСКОЕ УЗ є:

- виконання вимог державних нормативних документів, нормативно-технічних документів ДП «Енергоринок» та Національної комісії регулювання електроенергетики України;

- виконання постанов НКРЕ від 15.07.2010 №815, 818, 820, щодо унесення змін до Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з оптового постачання електричної енергії, в частині купівлю-продажу електроенергії з використанням даних АСКОЕ;

- організація централізованого збору від регіональних АСКОЕ інформації про обсяги поточного надходження, транзиту, власного споживання електричної енергії і потужності в електричних мережах залізниць України;

- складання щомісячних прогнозів про обсяги купованої на Оптовому ринку України електроенергії для споживачів ПАТ «Укрзалізниця»;

- зниження фінансових і трудових витрат на обслуговування пристроїв обліку електроенергії і електропостачання, а також на виконання робіт, пов'язаних з комерційними розрахунками за електроенергію;

- отримання точніших і оперативних графіків навантаження, з метою аналізу роботи схем обліку електроенергії та визначення енергооптимальних режимів роботи енергетичного комплексу ПАТ «Укрзалізниця».

### **Синтез динамической электромагнитной модели асинхронного двигателя, работающего в сетях с некачественной электроэнергией**

В.В. Кузнецов, А.В. Николенко, кафедра электротехники и электропривода  
Национальной металлургической академии

Самым распространенным электромеханическим преобразователем сейчас является асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором, благодаря его высокой надежности и низкой стоимости. Вместе с тем, актуальной остается проблема работы таких двигателей в сетях с некачественной электроэнергией.

Решение данной проблемы невозможно без наличия математической модели, которая позволяла бы анализировать его энергетическую эффективность при различных значениях всех показателей качества электрической энергии в сети. Такая модель, получена на основе дифференциальных уравнений Парка-Горева, записанных относительно пространственно-временных комплексов токов и напряжений. Необходимо также учитывать и насыщение магнитопровода, которое обусловлено предельной ориентацией магнитных диполей в материале последнего:

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1 R_1 + \underline{I}_0 R_0 + \frac{d\underline{\Psi}_1}{dt}, \quad (1)$$

$$0 = \underline{I}_2 R_2 + \underline{I}_0 R_0 + \frac{d\underline{\Psi}_2}{dt} - j\omega_m \underline{\Psi}_2, \quad (2)$$

где  $\underline{U}_1$  - ПВК напряжения статора,  $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_0$  - ПВК токов статора, ротора, и тока намагничивания,  $\underline{\Psi}_1, \underline{\Psi}_2$  - ПВК потокоцеплений статора и ротора,  $\omega_m$  - угловая скорость вращения АД,  $R_1, R_2$  - активные сопротивления статора и ротора.

Поскольку в ПВК используются мгновенные значения токов и напряжений, отпадает необходимость спектрального анализа и записи уравнений для каждой гармоники. Кроме того, в

них учитывается и несимметрия питающего напряжения. Рассматриваемая система является, фактически, универсальной моделью, позволяющей анализировать процессы как в установившихся, так и в переходных режимах.

Программная реализация разработанной модели АД, апробирована путем описания процесса пуска, наброса нагрузки и установившегося режима двигателя типа МТКН 112-6 мощностью 5,3 кВт. В качестве питания задано соответствующее реальному несимметричное несинусоидальное напряжение с отклонениями по фазам порядка 10% и коэффициентами гармонических составляющих 0,8-3%

Анализ полученных энергетических показателей работы АД, представленных в таблице 1, подтверждает, что некачественное питающее напряжение обуславливает рост всех видов потерь, и, соответственно, снижение КПД и коэффициента мощности двигателя.

Таблица 1. Энергетические показатели АД

Показатели	Ед.	Идеальное питание	Некачественное питание
Потери в статоре	Вт	491,3	498,3
Потери в роторе	Вт	652,2	661,5
Потери в стали	Вт	89,2	90
Суммарные потери	Вт	1235	1250
КПД	%	81,4	81,2
Коэффициент мощности	о.е.	0,98	0,9

## Результати енергетичного обстеження ДНУЗТ

Кузнєцов В.Г., Антонов А.В., ДНУЗТ

ДНУЗТ отримує електричну енергію від ПАТ «ЕК Дніпрообленерго» за основним введенням напругою 35 кВ та резервним - 6 кВ. Приєднана потужність 4000 кВА. Дозволена потужність 2860 кВА. Основні споживачі: навчальні корпуси та лабораторії, житлові будинки, гуртожитки, майстерні. Середнє річне споживання електроенергії становить 5000000 кВт·год. В профілі споживання електроенергії присутні значні сезонні коливання. Так, в середньому, витрати електроенергії взимку більше в 2,5-3 рази, ніж витрати влітку.

Дані про споживання електроенергії споживачами ДНУЗТа представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Загальний обсяг витрат електроенергії по роках (усереднено)

Рік	Активна енергія, кВт·год	Реактивна енергія, кВар·год	Університет	Житлові будинки
2008	5728000	2638000	3299000	645000
2009	4843000	1219000	2201000	677000
2010	5533000	433000	2626000	850000
2011	5145000	526000	2361000	799000
2012	5053135	540959	2258527	848448

В попередні роки, кафедрою «Електропостачання залізниць» проводилися енергетичні обстеження, було встановлено, що в університеті існує значний потенціал енергозбереження. Були запропоновані та впроваджені такі енергоощадні заходи: установка пристроїв компенсації реактивної потужності, вдосконалення системи обліку і контролю електроенергії, заміна застарілих електромереж.

Враховуючи досвід попередніх енергетичних обстежень, для визначення напрямків підвищення енергетичної ефективності університету, авторами доповіді був проведений новий енергетичний аудит. В результаті первинного обстеження встановлено наступне:

майже 40% усієї спожитої електроенергії університетом використовується гуртожитками, що видно з рис. 1.

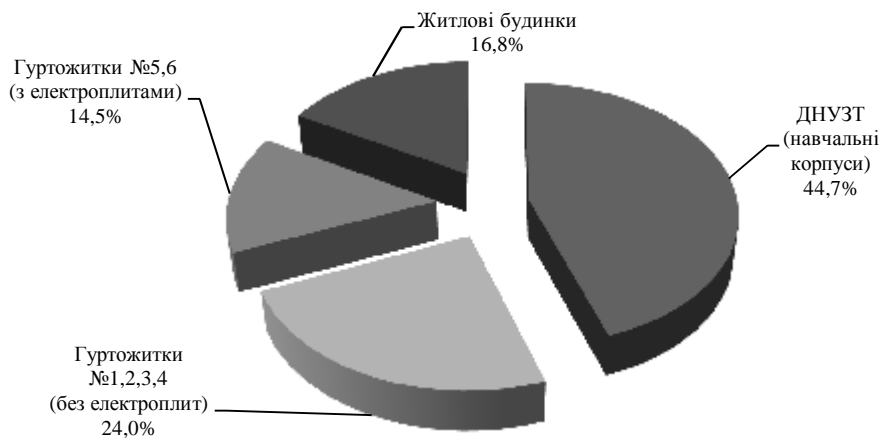


Рис.1 Споживання електроенергії об'єктами університету

Подальше обстеження було вирішено проводити в гуртожитках університету. Відповідно до існуючих норм споживання електроенергії базова норма витрат становить:

- для гуртожитків з електроплитами 900 кВт·год/місце;
- для гуртожитків без електроплит 200 кВт·год/місце.

Оперуючи цими показниками, встановлені середньорічні нормативи споживання електроенергії та відображені відхилення від нього фактичного значення на рис. 2.

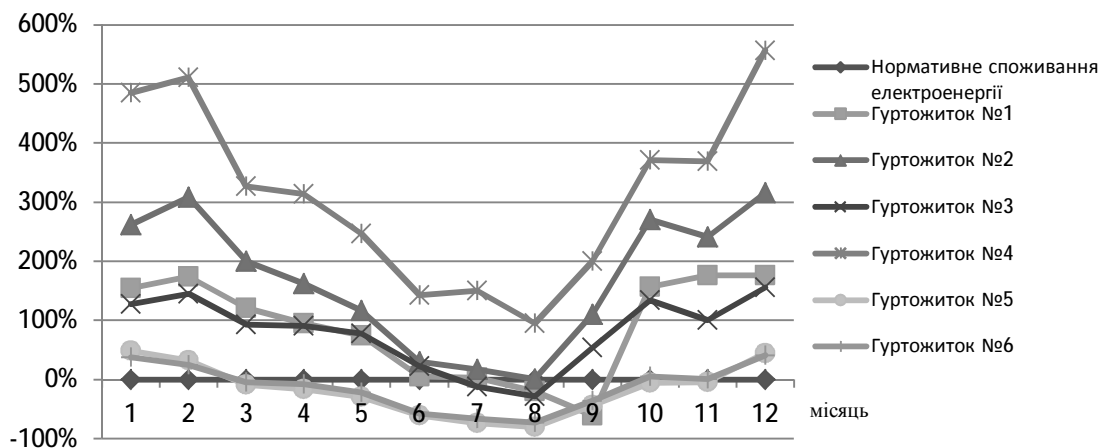


Рис. 2 Відхилення рівня споживання електроенергії від нормативного

З аналізу отриманих даних встановлено, що фактичне споживання електроенергії в гуртожитках з газовими плитами перевищує середньорічне нормативне споживання в 2-3 рази. В гуртожитках з електроплитами перевищення норми споживання електроенергії не прослідковується.

На прикладі гуртожитку №4 пропонується впровадження таких енергоощадних заходів: використання енергоощадних ламп, автоматизація системи освітлення, вирівнювання навантаження фаз мережі 0,4 кВ, встановлення приладів обліку електроенергії.

Так як система освітлення є вагомим споживачем електричної енергії, встановлення енергоощадних ламп та їх автоматизація дасть можливість скоротити споживання електроенергії системою освітлення до 70%. Проведений розрахунок економії електроенергії від впровадження енергоощадних ламп з автоматизацією. При розрахунку враховувались такі параметри: площа приміщень, зменшення світлового потоку лампи,

ефективність світловіддачі, коефіцієнт відбиття, термін експлуатації ламп. В результаті розрахунку отриманий ефект від провадження енергоощадних ламп становить 72227,94 кВт·год/рік.

На основі аналізу знятих середніх значень фазних струмів та проведених розрахунків, пропонується впровадження заходу з вирівнювання навантаження фаз в мережі 0,4 кВ, який необхідно проводити два рази на рік, при умові, що середнє значення струму на головній ділянці нульового проводу становить більше 15А. Застосування такого організаційного заходу зменшує втрати в електричній мережі на 150 кВт·год/рік.

Встановлення лічильників окремо для кожної кімнати дає можливість контролювати споживання електроенергії та впливати на наднормове споживання адміністративними методами.

Завдяки впровадженню запропонованих енергоощадних заходів можна скоротити витрати електричної енергії в гуртожитку №4 на 15%, усунути наслідки від нерівномірного завантаження фаз та контролювати споживання електричної енергії по споживачам окремо.

На основі проведених розрахунків можна спрогнозувати економію електричної енергії в інших гуртожитках в розмірі 15% з відхиленням 2-3%.

### **Применение методов оптимизации для решения задачи уменьшения потерь электроэнергии в тяговой сети за счет регулирования транспортного потока**

Кузнецов В. Г., Калашников К. А. (ДНУЖТ)

В условиях оперативного управления движением поездов возникает необходимость применения таких методов оптимизации, которые позволяют быстро осуществлять выбор большего количества возможных ГДП в зависимости от регулирования следующих параметров:

- последовательности отправления поездов;
- интервалов и дислокации поездов между тяговыми подстанциями.

Рассмотрим теоретическое обоснование применения эвристического алгоритма с целью уменьшения потерь электроэнергии в тяговой сети для определения последовательности отправления поездов.

Пусть необходимо пропустить по участку  $n$  поездов. Для каждого варианта последовательности пропуска поездов определяются потери электроэнергии  $\Delta W$ . Возникает задача определения такой последовательности пропуска поездов, при которой достигается минимум функции потерь электроэнергии в тяговой сети  $C = f(\Delta W) \rightarrow \min$ . Понятие функции последовательности заключается в том, что некоторой последовательности  $[w_1, w_2, \dots, w_n]$  по определенному правилу  $F$  сопоставляется действительное число. Так, например, если  $w_i - i$  –  $J$  категория поезда и  $i = \overline{1, 4}$ , то в данном случае всего последовательностей пропуска поездов будет  $n! = 24$  варианта, а каждому варианту пропуска поездов сопоставляется определенная потеря электроэнергии в тяговой сети: Для решения поставленной задачи, авторами доклада предлагается применить эвристический алгоритм, основой которого является элементарная операция вариации последовательности (списка). Т.е. при заданном списке  $L = [w_1, \dots, w_n]$ , элементарная операция имеет вид –  $L \otimes (i, j)$ , где элементы  $w_i, w_j$  меняются местами.

С развитием спутниковых систем навигации и их внедрении в работе железнодорожного транспорта появляется возможность регулирования потока поездов не только с помощью временных интервалов между поездами, но и за счет контроля дислокации поездов. Однако на выбор метода решения задачи определения оптимальной дислокации поездов между тяговыми подстанциями накладываются определенные требования к алгоритму поиска минимума  $\Delta P_{\min}$ . Кроме того, что функция недифференцируема, ее область допустимых значений – расстояния между поездами - существенно зависит от местоположения первого поезда  $x_i$ . Учесть эту особенность позволяет метод деформируемого многогранника. Поэтому для решения данной задачи, по мнению авторов доклада, необходимо использовать метод деформируемого многогранника с учетом минимально допустимого расстояния между поездами по безопасности движения.

В результате исследований, проведенных авторами доклада для электрифицированного участка Приднепровской железной дороги, определена рациональная последовательность отправления поездов в четном и нечетном направлениях, интервалы между нечетными поездами -  $J_1 = 20$ ;  $J_2 = 10$ . При соблюдении данных интервалов потери электроэнергии в тяговой сети минимальные, составляют 457,1 тыс. кВт·ч; интервалы между четными поездами  $J_1 = 13$ ;  $J_2 = 17$  при этом потери электроэнергии в тяговой сети составляют 457,6 тыс. кВт·ч. Общие потери электроэнергии в тяговой сети при пропуске 6-ти поездов составили:  $\max = 1193,7$  тыс. кВт·ч,  $\min = 914,7$  тыс. кВт·ч. Вариация потерь при различных вариантах ГДП достигает 23,4%.

На основе метода деформируемого многогранника решена задача определения оптимальной дислокации поездов между тяговыми подстанциями по критерию минимума потерь мощности в тяговой сети. Для электрифицированного участка Приднепровской железной дороги минимальные потери мощности в тяговой сети для 3-х поездов между тяговыми подстанциями составили  $\Delta P_{\min} = 656$  кВт. Данные результаты достигаются при расстояниях между поездами  $y_1 = 1$  км и  $y_2 = 1.2$  км. Вектор расстояний между поездами имеет вид  $Y = [0.1; 1; 1.2]$ . Для 4-х поездов между тяговыми подстанциями минимальные потери мощности в тяговой сети составили  $\Delta P_{\min} = 2716$  кВт. Данные результаты достигаются при расстояниях между поездами  $y_1 = 1,1$  км,  $y_2 = 1,1$  км,  $y_3 = 1,6$  км. Вектор расстояний между поездами имеет вид  $Y = [0.1; 1.1; 1.1; 1.6]$ .

### **Енергетичний аудит ПрАТ «ЗЕРЗ»**

Кузнецов В.Г. , Коняева О. О. , ДНУЗТ

Тенденції останніх років характеризуються постійним зростанням тарифів на електроенергію, а також помітним збільшенням частки енерговитрат у собівартості продукції. Жорстка конкуренція на внутрішньому ринку призвела до формування високих цін на енергоресурси, що значно збільшили собівартість продукції. Існуюча ситуація зумовила і стимулювала постійний пошук різних способів зниження собівартості продукції на підприємствах. Визначення шляхів зниження енерговитрат на основі результатів енергоаудиту є їх різновидом.

Під час енергоаудиту заводу проводилось:

- обстеження стану використання електричної енергії на об'єкті;

- розроблення організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження енергетичних витрат;
- визначення потенціалу заощадження електроенергії;
- економічне обґрунтування організаційно-технічних заходів.

Основною товарною продукцією заводу ПрАТ «ЗЕРЗ» є ремонт рухомого складу залізниць (електровозів). Крім виробництва основної товарної продукції, підприємство виробляє: теплоенергію, поковку, штамповку.

Аналіз облікової і фінансової документації об'єкта дозволив одержати наступні данні: загальна вартість енергоресурсів, що споживає об'єкт; сезонні зміни споживання палива; інформація про ціни та систему тарифів.

Ця інформація дає картину поточної ситуації на заводі і дозволяє виділити пріоритетні області, де заходи з енергозбереження повинні бути впроваджені в першу чергу. Основними споживачами електричної енергії є електромашинний (25%) та енергосиловий (24%) цехи, отже саме тут необхідно провести заходи з енергозбереження.

Оцінка очікуваної техніко-економічної ефективності проводилася на підставі даних про енергоспоживання та розрахунків.

Порівняння питомих норм споживання електроенергії з фактичними питомими витратами виявило неефективність використання електроенергії, витрати електричної енергії на освітлення, вироблення стислого повітря та вентиляцію перевищують нормоване значення. Найбільш енерговитратні галузі підприємства – освітлення виробничих приміщень (10% від загальних витрат електроенергії) та вироблення стислого повітря (13% загальних витрат електроенергії).

Після розгляду всіх можливих заходів з покращання енерговикористання здійснюється їх узагальнення і формування проекту стосовно об'єкта в цілому.

В якості пріоритетних розглянуті заходи, які забезпечують максимальну економію електроенергії і вимагають для реалізації капітальних витрат в межах економічно обґрунтованих термінів окупності.

В результаті проведення енергоаудиту запропоновані наступні заходи:

а) безвитратні рекомендації:

- ощадливе використання наявних ресурсів;
- покращення до нормативного технічного обслуговування обладнання;
- оптимізація роботи системи освітлення, виключення нераціонального використання, регулярне проведення очищення і регулювання світильників, децентралізація вимикання;
- підвищення загального рівня технічної культури, націленої на енергозбереження.

б) низьковитратні рекомендації:

- заміна існуючих поршневих компресорів великої потужності на 10 сучасних гвинтових компресорів, економія складатиме 545,3 тис. кВт.год щорічно, що становить 548,4 тис.грн. Інвестиції становлять 272 тис.євро. Термін окупності - 3,5 роки;
- заміна звичайних ламп розжарювання на енергозберігаючі. Річна економія складе 724,5 тис.кВт.год, що становить 615,4 тис.грн. Інвестиції - 174,2 тис.грн. Термін окупності - 3,7 роки.

Проведення енергетичного обстеження виявило нераціональне використання електроенергії. Великий потенціал енергозбереження має обладнання, що працює з великими потужностями. Наряду з цим, значні можливості з енергозбереження містить освітлення території заводу та головного корпусу. Результатом енергетичного обстеження є план заходів з енергозбереження, введення яких дозволить зекономити до 700 тис.грн. Організація енергоаудиту на великих промислових підприємствах, зі значним обсягом виробництва досить складна та потребує комплексного підходу.

## Розробка рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат

Кузнецов В.Г., Кирилюк Т.І., ДНУЗТ

Під час організації визначення втрат електроенергії в контактній мережі за допомогою непрямих методів необхідно знати, як часто змінювати коефіцієнт втрат. Величина коефіцієнта втрат заноситься в лічильник втрат програмними засобами. Регламентом зміни коефіцієнта втрат будемо називати залежність  $k_b(t)$ . Він залежить від необхідної точності визначення втрат електроенергії в контактній мережі.

Автори доповіді виконали дослідження характеру зміни коефіцієнта на основі методу Монте-Карло. Показано, що коефіцієнт втрат підпорядковуються логнормальному розподілу. Також встановлені межі його зміни:

для постійного струму  $0,94 \leq k_b \leq 1,33$ ;

так і для змінного струмів  $6,56 \leq k_b \leq 7,79$ ;

Для надання рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат визначено ступінь впливу кожного з впливаючих факторів. Для ділянки постійного струму коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом втрат і температурою навколишнього середовища склав - 0,0462; між коефіцієнтом втрат і зношуванням контактного проводу - 0,2635, між коефіцієнтом втрат і швидкістю руху електрорухомого складу - 0,4865, між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні - (-0,7942).

Для ділянки змінного струму коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом втрат і температурою навколишнього середовища складає 0,0129; між коефіцієнтом втрат і зношуванням контактного проводу - 0,0815; між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні - (-0,8562).

Отже, найбільша кореляція спостерігалась між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні (-0,7942 для ділянки постійного струму, -0,8562 для ділянки змінного струму). Оскільки кореляція від'ємна, це означає, що із збільшенням числа поїздів зменшується коефіцієнт втрат. Це підтверджується попередніми дослідженнями.

З огляду на вищесказане досліджено вплив кількості поїздів на ділянці постійного струму (Придніпровської залізниці) із двостороннім живленням на коефіцієнт втрат. Середнє значення коефіцієнта втрат при одному поїзді на ділянці - 0,7, при двох - 0,6, при трьох - 0,53. На основі статистичних даних по кількості поїздів на дослідній ділянці та отриманих коефіцієнтів втрат побудована залежність зміни коефіцієнта втрат у часі за тиждень для ділянки Придніпровської залізниці.

Для надання рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта обчислено похибку від усереднення коефіцієнтів втрат за дві, три, чотири години і т. д. до 168 год. Дослідження показали, що із плином часу похибка змінюється незначно: через тиждень вона встановлюється на рівні 5,8 % для ділянки змінного струму та 4,3 % для ділянки постійного струму.

Регламент зміни коефіцієнта втрат рекомендовано прийняти в залежності від необхідної точності. Для ділянки змінного струму (при допустимій похибці 5 %) коефіцієнт втрат рекомендовано змінювати кожні 4 години. Якщо ж допустима похибка складає 6 %, то коефіцієнт втрат можна не змінювати. Що ж стосується ділянки постійного струму, то за тиждень модельного часу похибка не перевищила 4,3 %. Тому для ділянки постійного струму коефіцієнт втрат можна не змінювати (при допустимому рівні похибки 5%).



## **Енергозбереження в колійному господарстві за рахунок впровадження нових технологій ремонтних робіт**

Курган М.Б., Лужицький О.Ф. (ДНУЗТ), Бабенко А.І. (Укрзалізниця)

Пріоритетними завданнями Транспортної стратегії в галузі залізничного транспорту є зниження паливно-енергетичних ресурсів, впровадження технологій енергозбереження при перевезеннях залізничним транспортом, нових технологій ремонтних робіт.

Моніторинг за використанням електроенергії на тягу поїздів по колійному господарству Укрзалізниці передбачає зменшення кількості тривалих і тимчасових обмежень швидкості руху поїздів; перехід від великої кількості малих за тривалістю „вікон” до невеликої кількості довготривалих „вікон”.

У сучасних умовах роботи залізничного транспорту використовуються нові ресурсозберігаючі технології при ремонтах залізничної. Якщо в 2006-2007 рр. балова оцінка колії складала 210-166, то в 2011-2012 рр. – 59-57. На початок 2013 р. протяжність безстикової колії складає 74,3% (22065 км, в тому числі більше двох тисяч кілометрів довжиною в блок-ділянку чи перегін) від розгорнутої довжини колії. Нові прогресивні технології дають можливість створювати безстикову колію довжиною до перегону. Так, на напрямку Ніжин - Конотоп по ст. Халімоново на головних коліях було укладено 8 стрілочних переводів з безперервною поверхнею кочення проекту Дн300, що дозволило створити безстикову колію довжиною близько 23 км на двох перегонах Конотоп - Халімонове - Бахмач-Пасажирський, а також реалізовувати швидкість руху пасажирських поїздів 140 км/год.

Покращення технічного стану верхньої будови після своєчасного проведення ремонтів та укладанні безстикової колії дозволяють зменшити опір руху поїздів і скоротити витрати електроенергії.

Для підготовки колійної інфраструктури до впровадження прискореного руху пасажирських поїздів на напрямках Київ – Львів, Київ – Полтава – Лозова – Донецьк у 2012 році виконані модернізація колії, посилений капітальний ремонт тощо.

Визначальним параметром при впровадженні прискореного та швидкісного руху пасажирських поїздів є максимальна швидкість. Одним з суттєвих факторів, що визначає допустиму швидкість руху, є план колії. Виконання робіт з перебудови кривих – дорогий захід, часто пов'язаний з переходом на нову трасу. Так, на ділянці Полтава-Лозова Південної залізниці в 2012 році здійснено перебудову десяти кривих при збільшенні радіусів до 1500-1600 м з метою підвищення швидкості руху поїздів. Такі заходи дають можливість суттєво зменшити роботу гальмівних сил на ділянках гальмування при обмеженні швидкості в кривій, зменшити роботу сили тяги локомотива на ділянках розгону після проходженні кривої. В кінцевому результаті забезпечується більша плавність і комфортабельність їзди при менших витратах електроенергії на тягу поїздів.

На пріоритетному напрямку від Львова до Донецька, що складає 1307 км експлуатаційної (2227 км розгорнутої довжини) швидкість руху пасажирських поїздів реалізується від 120 до 140 км/год на 385 км (17,3%), від 141 до 160 км/год – 779 км (35,0%).

Впровадження нових технологій ремонтних робіт дало можливість підвищити плавність і комфортабельності їзди, зменшити експлуатаційні витрати на ремонт і утримання кривих ділянок колії на 5-8% за рахунок правильно встановленої максимально допустимої швидкості, знизити витрати паливно-енергетичних ресурсів і скоротити витрати електроенергії на тягу поїздів на 5-10%.

## **Системний підхід до вирішення задачі енергозбереження в колійному господарстві**

Курган М. Б., Байдак С.Ю., Хмелевська Н.П. – ДНУЗТ

З 90-х років минулого століття країни Західної Європи розпочали розробку програм з економії енергоресурсів. Такі програми торкнулись і залізничного транспорту. Показовою можна назвати проект EnergieSparen на залізницях Німеччини. Проект з моніторингу споживання електроенергії передбачав технічну, процесуальну і організаційну підтримку заходів з економії енергії.

Довгострокова Програма енергозбереження діє і на залізничному транспорті України. Залізниці поступово переходять на повне оснащення автоматичною системою комерційного обліку електроенергії. За останні 10 років енергоємність залізничного транспорту зменшилась майже на половину.

Аналіз витрат колійного, локомотивного і господарства електропостачання показує, що питома вага в загальній сумі експлуатаційних витрат по колійному господарству складає від 15 до 22%, по локомотивному від 30 до 43% по господарству електропостачання цей показник змінюється від 1,5 до 3,0 %.

Проведений аналіз показав, що із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів найбільші витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів. Їхній рівень залежить від багатьох факторів серед яких одним з основних можна вважати режим ведення поїзда. Зміна режиму веде до різної механічної роботи сили тяги локомотива, яка залежить від технічного стану верхньої будови колії, параметрів поздовжнього профілю, плану лінії тощо. І якщо профіль залізниці практично не змінюється при проведенні модернізації залізничної колії, то параметри плану лінії корегуються з метою підвищення швидкості руху поїздів.

Розробка технологій енергозбереження повинна базуватись на діагностиці, моніторингу і прогнозі. З цією метою була запропонована підсистема управління енергозбереженням, яка включає проведення комплексу заходів та інформаційного забезпечення. Після проведення діагностики визначається фактичний стан параметрів плану, поздовжнього профілю, колійної інфраструктури, наявність постійних і тимчасових обмежень швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів тощо. Моніторингу властиві і спостереження, і аналіз інформації, що отримана в ході діагностики. Інформаційне забезпечення включає характеристики залізничної колії, динаміку накопичення деформацій і змін параметрів плану і поздовжнього профілю, співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження. Прогнозування й розробка управлінських дій передбачають можливості змін підсистеми на основі моніторингу даної ділянки залізниці: положення кривих, поздовжнього профілю, усунення обмежень швидкості, зміна співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження. тощо.

Моніторинг за використанням електроенергії на тягу поїздів по колійному господарству Укрзалізниці можна представити за такою схемою: зменшення кількості тривалих і тимчасових обмежень швидкості руху поїздів; перехід від великої кількості малих за тривалістю „вікон” до невеликої кількості довготривалих „вікон”. Як результат - покращується використання рухомого складу й існуючої інфраструктури. Покращення технічного стану верхньої будови після своєчасного проведення ремонтів колії; укладання безстикової колії довжиною в блок-ділянку чи перегін, дозволяють до 15% зменшити опір руху поїздів і скоротити витрати електроенергії на тягу поїздів до 10%.

Авторами було досліджено питання зміни енергоємності вантажного поїзда, на напрямках Львів-Здолбунів-Київ і Львів-Жмеринка-Київ. Встановлено, що північний хід

за параметрами плану й профілю складніший і потребує більших витрат електричної енергії, що враховано при вирішенні задачі розмежування вантажного й пасажирського руху і спеціалізації напрямків.

### **Дослідження можливості застосування МПЗ типу МРЗС-05 ТА «Діамант» на тягових підстанціях постійного струму 3,3 кВ.**

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

На українських залізницях гостро стоїть питання про заміну існуючих релейних захистів на електромеханічній елементній базі. Головними причинами такої заміни є: старіння електромеханічної елементної бази, зниження відсотка правильної роботи пристроїв релейного захисту, споживання значної потужності в ланцюгах оперативних перемикачів.

Релейний захист на тягових підстанціях виконаний на базі електромеханічних реле, які в кращому випадку були замінені на сучасні електромеханічні або мікроелектронні реле, але більшість релейних захистів не замінювалась та відпрацювала 30-40 років. Наступає час, коли потрібно замінювати старе обладнання для запобігання відмов спрацювання захистів та забезпечення швидкодії відключення кіл, де виникло коротке замикання. У наш час все більш широке поширення набувають мікропроцесорні захисти електричного устаткування, які приходять на зміну електромеханічним і мікроелектронним реле. МПЗ не змінюють принципів релейного захисту та протиаварійної автоматики, але вони розширюють функціональні можливості, скорочують кількість реле, спрощують обслуговування та в кінцевому рахунку знижують її вартість.

Пропонується на тяговій підстанції постійного струму дослідити можливість встановити нові мікропроцесорні релейні захисти типу МРЗС-05 та «Діамант». За рахунок доповнення цих пристроїв модулями цифрового перетворення постійної напруги й фідерних струмів з елементами гальванічної розв'язки їх можна використати для побудови захисту від перевантажень по струму із застосуванням логічного аналізу форми кривої струму й зробити захист більш ефективним.

Застосування захисту даного типу на тягових підстанціях постійного струму забезпечить високий ступінь автоматизації процесів розрахунку параметрів аварійних і ненормальних режимів, постійний контроль вимірюваних параметрів, миттєве реагування на характерні, аварійному й ненормальному режимам роботи, величини. Це значно полегшить роботу енергодиспетчера й приведе до зниження кількості обслуговуючого персоналу, що у свою чергу, знижує можливість "людського фактора". Мале споживання потужності мікропроцесорного захисту, порядку 0,1-0,5 ВА, а також порівняно невелика вартість складених елементів, робить її більш економічною. Висока швидкодія (за рахунок високої швидкості обробки інформації в мікропроцесорі), висока точність сприйняття інформації (за рахунок використання високорозрядних АЦП), високі показники експлуатаційної надійності, все це робить даний захист більш ефективніше, ніж захист на електромеханічній елементній базі.

## **Ресурсозберігаючі методи експлуатації системи струмознімання з застосуванням діагностування на фізичній моделі «струмоприймач – контактний провід»**

Мандич В.Г., ДНУЗТ, м. Дніпропетровськ, Україна

Серед технічних і економічних проблем електричних залізниць далеко не останнє місце займають проблеми забезпечення надійного і економічного струмознімання. Забезпечення високої якості струмознімання, тобто визначення необхідних параметрів контактної підвіски та струмоприймачів і їх раціональних конструкцій при високих економічних показниках, являється основною метою оптимізації взаємодії елементів в системі «струмоприймач – контактний провід». Поряд з конструктивним поліпшенням взаємодіючих елементів контактної мережі та струмоприймачів (струмознімальних елементів) не останнє місце займає їх вхідний контроль та правильна експлуатація.

В даний час існує велика кількість різноманітних конструкцій контактних підвісок та струмознімальних елементів, призначених для експлуатації в умовах швидкісного руху. Параметри і конструктивні особливості цих пристроїв варіюються в широких межах. Вплив цих параметрів на динаміку взаємодії контактної підвіски і струмоприймача виражено неявно і має безліч нюансів, що і спонукає до більш детального розгляду цього питання.

Вирішення питання оптимізації струмознімальних елементів потребує комплексного підходу до їх контролю та діагностування як в процесі експлуатації, так і при введенні в експлуатацію. Незадовільний вхідний контроль та діагностування контактуючих елементів може призвести до катастрофічно наростаючого зносу контактуючих поверхонь, відриву струмоприймачів з подальшим відпадом та перепалом контактних проводів, пошкодженню струмоприймачів та інше.

В доповіді розглядаються питання щодо проведення контролю та діагностичних випробувань з застосуванням фізичної моделі взаємодії струмоприймача та контактного проводу з імітацією реальних умов роботи ковзного контакту. Це надасть можливість досліджувати експлуатаційні показники різноманітних контактуючих елементів, їх трибологічні та електромеханічні властивості при взаємодії під струмовим навантаженням (інтенсивність електромеханічного зносу контактуючих елементів, нагрівання та розподіл температури по струмознімальному елементу та інше).

Лабораторне дослідження елементів системи струмознімання на фізичній моделі дозволяє скоротити витрати пов'язані з організацією та створення умов проведення діагностичних випробувань, а аналіз отриманих результатів дозволить надавати рекомендації щодо застосування тих чи інших матеріалів в парі тертя, їх раціонального конструкційного виконання для конкретних експлуатаційних умов, що забезпечить збільшення економічних показників в системі струмознімання.

## **Дослідження енергоефективності електромагнітних процесів живлення пристроїв автоблокування.**

Міронов Д.В., ДНУЗТ

Експериментальні дослідження є основою для вивчення електромагнітних процесів у системі тягового електропостачання електрифікованих залізниць постійного струму (СТЕ) та для побудови математичних моделей процесів перетворення і споживання електричної енергії, електромагнітних процесів і завад, а також конкретних електричних пристроїв.

Модель електромагнітної сумісності системи електричної тяги постійного струму і ліній електропостачання автоблокування (АБ) і подовжнього електропостачання (ПЕ) з суміжними низькоенергетичними пристроями в загальному вигляді має ймовірнісний характер, а параметри процесу є статистичними характеристиками. Звідси, дослідження ЕМС базуються на застосуванні статистичних методів обробки та аналізу експериментальних даних, отриманих як в результаті фізичного експерименту, так і в результаті математичного моделювання. До параметрів можна віднести: гармонійний склад випрямленої напруги і тягового струму при різних режимах роботи перетворювачів тягових підстанцій і електрорухомого складу; гармонійний склад струмів, що протікають по проводах трифазних лініях АБ і ПЕ; характеристики несинусоїдальних і несиметричних струмів і напруг.

Визначення показників якості електричної енергії (ПЯЕ) під час експериментальних досліджень є нетривіальним завданням. Це тому, що більшість процесів, що протікають в електричних мережах - швидкоплинні, всі нормовані ПЯЕ не можуть бути виміряні напряму - їх необхідно розраховувати, а остаточний висновок можна дати тільки по статистично обробленим результатам. Тому, для визначення ПЯЕ, необхідно виконати великий обсяг вимірювань з високою швидкістю і одночасною математичною та статистичною обробкою вимірних значень.

Проведення тривалих статистичних вимірювань на діючих електрифікованих залізницях пред'являє до них особливі вимоги, пов'язані з тривалістю реєстрації, інтервалом дискретизації, вибором методики обробки і аналізу отриманих даних. Основними проблемами, які виникають при проведенні тривалих експериментальних досліджень, є необхідність забезпечення зберігання великого масиву даних, їх синхронізація, а також методика обробки та аналізу.

Сутність статистичної обробки результатів вимірювання нормованих ПЯЕ полягає в побудові функції розподілу ПЯЕ. Вимірювальні прилади дозволяють виміряти частоту попадань значень ПЯЕ у певний інтервал на всьому діапазоні можливих значень. Найбільш зручною формою подання інформації про зміни випадкових величин є графічне представлення статистичного ряду досліджуваного показника, зміна якого носить випадковий характер. Така добова функція розподілу в графічній формі являє собою залежність ймовірності події, яка оцінюється  $P(i) = m/n$ , де  $m$  - кількість вимірювань, які знаходяться в заданих межах,  $n$  - загальна кількість вимірювань. При побудові графіка число інтервалів не повинно бути занадто великим (інакше виявляються незакономірні події) і занадто малим, щоб не згладити характерні особливості розподілу.

Достовірна оцінка ПЯЕ в мережі і розробка ефективних заходів, спрямованих на забезпечення якості електроенергії (ЯЕ), не можливі без спеціалізованих засобів виміру (ЗВ). Інтенсивний розвиток мікропроцесорної техніки дозволив створити багатофункціональні ЗВ, призначені для контролю і аналізу ЯЕ. Їх застосування дозволяє оцінити енергетичну ефективність електромагнітних процесів у пристроях живлення залізничної автоматики.

### **Споживання електроенергії електропоїздами у швидкісному русі на залізницях України**

Михайленко Ю. В., Марікуца С. Л., (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

З появою нового тягового рухомого складу для пасажирських перевезень зі швидкостями руху понад 120 км на годину спостерігається стала тенденція збільшення

потужності споживання електричної енергії з контактної мережі. Так загальна потужність кіл тягових електродвигунів у номінальному режимі електропоїзда “Hyundai Rotem” серії HRCS2 складає 6 МВт, а електропоїздів EJ675 – 4 МВт. Ці електропоїзди обладнані потужними системами вентиляції і кондиціювання повітря, електроопалення і освітлення пасажирських салонів. Все це обумовлює підвищення рівня навантажень на існуючі системи електропостачання і ускладнює роботу струмознімальних пристроїв тягового рухомого складу.

Схемні рішення електропоїздів передбачають роздільний облік витрат електроенергії на тягу, рекуперацію та власні потреби; витрати на тягу і кількість рекуперованої енергії визначаються для кожного моторного вагону, а витрати на власні потреби – для секції.

Результати дослідної експлуатації з пасажирями цих електропоїздів на маршрутах залізниць України показали, що отримані оцінки питомих витрат електроенергії на тягу становлять близько 224 кВт•год/104т•км брутто. Середня кількість поверненої енергії досягає 10%, а витрат на власні потреби – 13% від загальної кількості спожитої. Порівняльний аналіз витрат електроенергії на обслуговування швидкісних поїздів №165/166 електровозами ДСЗ і електропоїздами HRCS2 на дільниці Київ Пасажирський – Дніпропетровськ Головний вказує на збільшені на 11% загальні питомі витрати електропоїздів, але при цьому вони реалізують більшу технічну швидкість – 104,3 км/год.

### **Підвищення енергоефективності при взаємодії систем зовнішнього та тягового електропостачання.**

Міщенко С.М., Укрзалізниця

Як відомо, основними параметрами, які характеризують узгоджену та надійну роботу систем тягового та зовнішнього електропостачання є:

- рівні напруг на шинах тягових підстанцій;
- якість електричної енергії на межі балансової належності тягових підстанцій;
- зрівнювальний струм;
- споживання (генерація) реактивної потужності.

Одним з найбільш інформативним параметром оцінки якості умов взаємодії двох систем є величина зрівнювального струму, оскільки тягові підстанції та тягова мережа замикають різні точки системи зовнішнього електропостачання з різними напругами по модулю та фазі.

При цьому бувають випадки, коли зрівнювальний потік потужності набуває дуже великих значень і, як наслідок, приводить до завищених втрат електричної енергії в тяговій мережі та необхідності обліку транзиту цієї потужності по тяговій мережі та віддачу у енергосистему. Враховуючи, що залізниці працюють як ліцензіати з передачі та постачання електричної енергії за регульованим тарифом та укладають договір купівлі-продажу електричної енергії з ДП «Енергоринок» через мережі ДП НЕК «Укренерго», «Обленерго», не всі «Обленерго» приймають сальдований облік електроенергії і, як наслідок, це приводить до додаткових експлуатаційних витрат.

Практична значимість визначення величини зрівнювального струму полягає у проведенні постійного контролю за його виникненням та прийняття оперативним персоналом необхідних заходів по виконанню заданих режимів роботи контактної мережі, локальних та технологічних електричних мереж залізниць, дотриманням схем зовнішнього електропостачання, а також підвищенню надійної роботи електрообладнання та зниження втрат електроенергії в мережах.

## **Альтернативний підхід до нормування питомих витрат електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах**

Находов В.Ф., Бориченко О.В., НТУУ «КПІ»

Методологічною основою контролю ефективності використання електроенергії в Україні залишається система нормування її питомих витрат на виробництво продукції, виконання робіт чи надання послуг. Однак результати аналізу діючих в Україні методик нормування питомих витрат електроенергії на виробничих об'єктах свідчать, що існуюча система нормування має суттєві недоліки, зокрема: фактичні електробаланси виробничих об'єктів будуються в умовах невизначеності вихідних даних; у процесі встановлення норм питомих витрат електроенергії відсутній етап їх нормалізації; діючі методики нормування не містять чіткої і об'єктивної процедури контролю та аналізу виконання встановлених норм.

Відомо, що нормування питомих витрат електроенергії перш за все базується на побудові, аналізі та раціоналізації електричних балансів виробничо-господарських об'єктів. Тому з метою удосконалення діючої в Україні системи нормування була розроблена методика побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів, яка ґрунтується на застосуванні методів експертного опитування та нечіткої математики для визначення найбільш достовірних інтервалів можливих значень вихідних даних, а також на використанні методів оптимального програмування в процесі побудови балансів. Удосконалення методики побудови електробалансів на виробничих об'єктах дозволяє певною мірою підвищити обґрунтованість та об'єктивність встановлення норм її питомих витрат, однак не вирішує багатьох інших проблем, притаманних існуючій системі нормування.

Тому подальший розвиток існуючої в Україні системи контролю енергоефективності має здійснюватись у напрямку розробки та застосування методів, альтернативних нормуванню питомих витрат палива та енергії. Одним з таких методів є побудова і застосування систем оперативного контролю енергоефективності. Такий підхід досить широко використовується в зарубіжній практиці, де подібні системи мають назву Monitoring and Targeting Systems (системи контролю і планування, скорочено - системи КіП). Однак традиційні методики побудови таких систем мають низку суттєвих недоліків, спрощень, невирішених питань, що не дозволяють «механічно» застосовувати їх в умовах України для управління енергоефективністю. Основними недоліками традиційних систем КіП є:

- 1) встановлення і застосування необґрунтовано спрощених «стандартів» електроспоживання;
- 2) відсутність достатньо чіткої та об'єктивної процедури контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання;
- 3) неможливість застосування традиційних систем КіП для здійснення контролю енергоефективності на рівні виробничих об'єктів в цілому.

Виходячи з недоліків традиційних систем КіП, була створена удосконалена методика встановлення обґрунтованих «стандартів» електроспоживання, основною перевагою якої є те, що використовуються експертні методи для визначення достатньо повного складу чинників, що суттєво впливають на споживання електроенергії, а також застосовуються більш строгі та чіткі ймовірно-статистичні процедури для побудови багатofакторних моделей споживання електроенергії. Причому в якості «стандартів» енергоспоживання пропонується приймати не самі математичні моделі, а межі побудованих до них довірчих

інтервалів, що дозволяє враховувати випадковий характер процесів електроспоживання та залишкову похибку їх моделювання. Також розроблена процедура об'єктивного контролю виконання встановлених «стандартів», яка ґрунтується на застосуванні одного з методів статистичного контролю якості продукції, що дає можливість оперативно визначати моменти невідповідного зниження або підвищення ефективності використання електричної енергії, а також отримувати об'єктивну кількісну оцінку обсягів її економії або перевитрати енергії протягом відповідних періодів.

Зважаючи на переваги та недоліки нормування електроспоживання та запропонованої методики побудови систем оперативного контролю, цілком природно зробити припущення, що одним з напрямів подальшого розвитку діючої в Україні системи контролю ефективності використання електричної енергії в суспільному виробництві може бути поєднання існуючої практики нормування її питомих витрат з побудовою та застосуванням систем оперативного контролю ефективності електровикористання. Результатом об'єднання двох зазначених підходів до контролю енергоефективності має бути створення на виробничо-господарських об'єктах інтегрованих систем контролю ефективності використання електроенергії. Таке поєднання зазначених різних підходів є цілком можливим та доцільним, принаймні на деякий «перехідний» період, протягом якого, без сумніву, будуть знайдені більш досконалі методи контролю ефективності використання електричної енергії у суспільному виробництві, але й можливість систематичного здійснення такого контролю зараз не буде втрачена.

### **Удосконалення методологічних засад побудови систем оперативного контролю ефективності енерговикористання**

Находов В.Ф., к.т.н., доц.; Бориченко О.В., к.т.н., доц.; Бедерак Я.С., Іванько Д.О.,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Досягнення високого рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в суспільному виробництві неможливе без управління вирішенням задач енергозбереження на всіх рівнях господарювання. Першочерговою функцією управління енергозбереженням є контроль ефективності використання ПЕР, в тому числі, оперативний.

Для виконання зазначеної функції в зарубіжній практиці використовують так звані системи контролю і планування енергоспоживання (системи КіП). Проте в нашій державі подібні системи до цього часу практично не використовуються. Однією з причин такого стану справ є те, що методологія побудови і функціонування зарубіжних систем КіП містить низку спрощень та невирішених питань, які не дозволяють безпосередньо, «механічно» застосувати її в Україні. Серед численних недоліків традиційного підходу до побудови і використання систем КіП, у першу чергу, необхідно зазначити наступні:

1. Відсутня чітка методика визначення об'єктів для створення систем КіП, зокрема, на промислових підприємствах, тобто виявлення окремих агрегатів, технологічних процесів чи їх груп, для яких необхідно та економічно доцільно створювати такі системи.
2. Не розглядається питання визначення оптимальної періодичності контролю енергоефективності для різних виробничих об'єктів.
3. Застосовуються здебільшого спрощені методи встановлення «стандартів» енергоспоживання (у вигляді константи або рівнянь однофакторної лінійної регресії).

Авторами розроблено методичний підхід до сумісного вирішення задачі вибору об'єктів створення систем оперативного контролю енергоефективності, а також визначення оптимальної періодичності контролю для кожного з цих об'єктів на основі



оцінки та аналізу витрат на здійснення контролю і ймовірних втрат, що можуть виникати у разі його відсутності. При цьому оцінка ймовірних втрат матеріальних та енергетичних ресурсів при відсутності оперативного контролю ефективності використання ПЕР базується на застосуванні теорії надійності роботи обладнання, а також методів експертного опитування і нечіткої логіки.

З метою визначення найбільш доцільного складу об'єктів для створення локальних систем оперативного контролю ефективності енерговикористання на промислових підприємствах пропонується застосування схем функціональної цілісності (СФЦ).

Авторами розроблено також підхід до вибору «найкращого» методу математичного моделювання обсягів витрати енергоресурсів, який найбільш доцільно застосовувати для встановлення «стандартів» енергоспоживання в системі оперативного контролю енергоефективності, що створюються на будь-якому конкретному виробничому об'єкті.

Причому вибір «найкращого» методу моделювання енергоспоживання пропонується здійснювати не тільки за кількісними показниками адекватності моделей, але також і за якісними критеріями, які характеризують додаткові вимоги з боку персоналу об'єкту до методу та результатів побудови відповідної моделі. Врахування якісних показників пріоритетності методів моделювання, що розглядаються, запропоновано здійснювати з застосуванням методів експертного опитування та нечіткої логіки.

Враховуючи, що процедура вибору «найкращого» методу математичного моделювання енергоспоживання являє собою багатокритеріальну задачу, її вирішення авторами пропонується здійснювати з застосуванням методу аналізу середовища функціонування, більш відомого під назвою DEA аналізу (Data Envelopment Analysis).

### **Обґрунтування вибору конструкції геліоколекторів для географічних умов України**

Остапчук О.В. к.т.н., доцент, Харсун К.В. Державний ВНЗ «НГУ»

У багатьох розвинутих країнах сонячна енергетика отримала активну державну підтримку і стрімко розвивається. Досвід цих країн показує, що за певних кліматичних, економічних і політичних умовах сонячна енергетика вже сьогодні може стати реальним конкурентом традиційній енергетиці.

Україна має дуже вдале географічне розташування для розвитку сонячної енергетики, показники використання сонячного випромінювання збільшуються у напрямку з північного заходу на південний схід з самим високим потенціалом на Кримському півострові. Середньорічні показники сонячної радіації в північних регіонах України дорівнюють 1070 кВт\*год на 1 м<sup>2</sup> площі та досягають 1400-1700 кВт\*год в південних регіонах і в Криму. Сонячну енергію можна перетворювати в електричну енергію за допомогою сонячних панелей, або в теплову енергію за допомогою сонячних колекторів.

Сонячний колектор є одним з найпопулярніших в світі і найбільш універсальних пристроїв альтернативної енергетики. Виробництво установок для використання енергії сонця, за останні 4 роки, збільшилася в кілька разів. Фахівці, аналізуючи досвід використання сонячних колекторів, припускають, що до 2020 р. за рахунок сонячної енергії будуть задовольнятися 15 - 20% потреби людей в електроенергії. На сьогоднішній день вводиться в експлуатацію більше 3 млн. геліосистем на рік. При чому найбільшого розповсюдження набули дві конструкції: плоский та вакуумний колектори.

Плоский колектор – найпоширеніший вид сонячних колекторів, що використовуються в побутових водонагрівальних і опалювальних системах. Цей колектор

має теплоізолювану зашклену панель, в яку поміщена пластина поглинача. Пластина поглинача виготовлена з металу, що добре проводить тепло (наприклад міді або алюмінію). Пластина поглинача оброблена спеціальним високоселективним покриттям, яке краще утримує сонячне світло. Завдяки застосуванню скла з низьким вмістом заліза знижуються втрати тепла. Дно і бічні стінки колектора покриті теплоізолюючим матеріалом, що зменшує теплові втрати.

Другим розповсюдженим типом сонячних колекторів є колектор трубчастої конструкції. Сонячне випромінювання потрапляє всередину скляної трубки, де і відбувається перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію.

Вакуумні трубчасті сонячні колектори мають більш високий ККД, у порівнянні з плоскими, тому що вакуум є найкращим теплоізолятором. Подібна теплоізоляція дозволяє системі працювати з найменшими тепловими втратами цілий рік. Завдяки же формі трубки, вакуумний колектор сприймає не тільки пряме, а й розсіяне випромінювання, що збільшує ефективність його роботи. Завдяки наведеним перевагам, саме колектор такого типу є найбільш популярним на території України.

Проте, проведені дослідження характеристик теплової ефективності для найбільш розповсюджених конструкцій колекторів (при потужності сонячного випромінювання в 600 Вт/м<sup>2</sup>), дозволили встановити, що різниця у рівні ККД для плоских та вакуумних колекторів незначна. З цього можна зробити висновок, що найбільш перспективними в географічних умовах України, для систем гарячого водопостачання є конструкції плоских сонячних колекторів, через можливість використання у будь-який сезон, їх простоти і надійності при невисокій ціні в цьому сегменті обладнання.

### **Особенности использования гелиоэнергетики в климатических условиях Урала**

Павличенко М.Е., Васильев И.Л., УрГУПС, Россия, Пастушенко М.С., ДИИТ,  
Украина

В последнее время все большую популярность приобретают системы альтернативной энергетики. Если 10-20 лет стоимость энергии возобновляемых источников отличалась от стационарных источников сетевого напряжения на порядок, то сейчас отличается в разы, а в некоторых случаях оказывается эффективнее сетевых решений. Наиболее популярными являются системы, использующие энергию ветра и солнца. На одном из объектов в Свердловской области в эксплуатации находится независимая система энергоснабжения, использующая энергию солнца и ветра. Более эффективным оказалось использование энергии солнца. Система состоит из солнечной поликристаллической панели мощностью 100Вт, контроллера заряда батареи 12В/30А, комплект гелевых батарей общей емкостью 300А\*час и инвертора (преобразователь постоянного напряжения в переменный ток промышленной частоты) с модернизированной синусоидой мощностью 1кВт. Несмотря на кажущуюся незначительную мощность данной установки, эксплуатационные характеристики оказались выше ожидающихся параметров. Данная система полностью покрывает потребность в освещении объекта (при использовании светодиодных источников света), компьютерной и бытовой техники и частично – в использовании более мощных потребителей.

В процентном соотношении стоимость элементов системы без учета измерительных приборов, соединительных проводов и стоимости монтажа составляет: панель – 14,8%, контроллер – 5%, аккумуляторные батареи – 74,2%, инвертор - 5,9%. В процессе эксплуатации система показала свою высокую эффективность и работоспособность,

слабую зависимость от температуры окружающей среды, высокую надежность. Одновременно с этим выявились некоторые недостатки. Главным недостатком является высокая стоимость батарей. В связи с особенностями эксплуатации системы (5 дней заряд, 2 дня – потребление) образуется достаточно много непотребленной и неутилизированной электроэнергии. Наилучшим решением для данной проблемы было бы использование сетевого инвертора, который бы отдавал излишки электроэнергии в общую сеть. В этом случае возникает большая потребность в двунаправленных счетчиках, которые бы позволяли учитывать потребленную электроэнергию, отданную электроэнергию и разницу между ними.

При использовании систем гелиоэнергетики возникает ряд специфических вопросов, которые необходимо решать на стадии проектирования. В частности это выбор рабочего напряжения сети постоянного тока и мощности инвертора, так как изменение этих параметров в дальнейшем вызывает большие затраты.

Учитывая бурное развитие гелиоэнергетики и падение цен на компоненты (за год цена на поликристаллическую панель снизилась на 41%), можно ожидать увеличение спроса на сетевые инверторы и двунаправленные счетчики. Подобные системы могут найти широкое применение в устройствах СЦБ на электрифицированных железных дорогах и там, где высока стоимость подведения питающего напряжения.

Использование возобновляемых источников энергии в совокупности с использованием эффективных источников света позволяет существенно сократить затраты на электроэнергию, повысить надежность систем электроснабжения и снизить энергоемкость продукции в различных отраслях промышленности.

### **Проблемы проведения энергоаудита на предприятиях различных отраслей народного хозяйства**

Павличенко М.Е., Екатеринбург, Россия

Энергетическое обследование - сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявлении возможностей энергосбережения и повышении энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте.

В процессе проведения энергетического обследования на объектах Свердловской, Челябинской, Курганской, Тюменской областей, Пермского края и Ханты-Мансийского Автономного округа были выявлены некоторые общие зависимости, которые можно сгруппировать следующим образом:

1. В большинстве случаев уровень энергоэффективности объектов предприятия зависит от квалификации должностного лица, ответственного за энергохозяйство, и от квалификации и мотивации руководителя организации, а не от уровня финансирования организации.

2. Ряд проблем с теплоизоляционными свойствами ограждающих конструкций зданий и сооружений мог быть решен на месте без привлечения высококвалифицированных специалистов.

3. В подавляющем большинстве случаев значительный объем потерь тепла объясняется низкой культурой потребителей тепловой и электрической энергии.

4. Большой объем документации при проведении энергетического обследования не способствует повышению качества самого обследования.

При проведении расчетов ожидаемой экономии потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) данные, полученные на основе опыта внедрения различных мероприятий, оказываются значительно точнее, чем расчетные данные. Это связано с тем, что при расчетном методе увеличение числа влияющих факторов снижает точность расчетов, что свидетельствует о необходимости совершенствования методики расчетов.

В организациях, являющихся потребителями моторного топлива, соотношение фактического и расчетного удельного потребления топлива варьируется от 0,9 до 3,5, что свидетельствует о перспективности рынка устройств и систем контроля расхода моторного топлива, снижающих его нецелевое использование. Учитывая, что в общем объеме потребления ТЭР в сельскохозяйственных предприятиях моторное топливо занимает долю 65-75%, перспективность этих систем очевидна.

В системах электропотребления наибольшую долю экономии позволяют получить мероприятия, связанные с заменой ламп накаливания и люминисцентных ламп на светодиодные источники света, применение емкостной компенсации при наличии асинхронных электродвигателей, проведение мероприятий, препятствующих неучтенному и нецелевому потреблению электроэнергии.

### **Квантовая гидродинамика основа для разработки нетрадиционных источников энергии**

Пашенко А.В., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна

3 декабря 1937 года академик П. Л. Капица отправил в редакцию журналов "Доклады Академии наук СССР" и "Nature" короткую заметку, в которой сообщал об открытии явления сверхтекучести. Эта дата стала началом новой области науки - физики квантовых жидкостей. В 1941 году академик Л.Д. Ландау создал гидродинамическую теорию сверхтекучести гелия. В этой теории жидкий гелий рассматривается как смесь двух жидкостей, находящихся в двух различных квантовых состояниях. При этом могут существовать одновременно встречные потоки одной и той же жидкости. Как указывал П.Л. Капица – «Если бы это теоретическое положение не было так полно подкреплено экспериментальными доказательствами, оно звучало бы как идея, которую очень трудно признать разумной». В 1953 году будущий академик А.А. Абрикосов визуализировал, названные его именем – «вихри Абрикосова». За эти работы П.Л. Капица, Л.Д. Ландау, А.А. Абрикосов были удостоены Нобелевских премий по физике. Академик Н.М. Халатников предположил, что квантовые жидкости существуют во всех веществах. Экспериментально обнаружено большое количество необычных эффектов и явлений, обусловленных движением квантовых жидкостей.

Для определения направлений исследований были проанализированы природные процессы с целью выявления параметров движений квантовых жидкостей. Наиболее близкими к ним оказались процессы, происходящие в постоянных магнитах.

Явления сильного магнетизма связано с существованием кристаллической решетки, поскольку неизвестны сильномагнитные вещества, являющиеся жидкостями или газами. В кристаллических решетках имеется всего лишь несколько направлений легкого намагничивания. Классическая теория ферромагнетизма была разработана французским физиком Вейссом. Согласно его гипотезе ферромагнетик состоит из множества малых областей, называемых доменами, каждая из которых самопроизвольно (спонтанно) намагничена до насыщения. Линейные размеры доменов имеют порядок  $10^{-5}$  -  $10^{-4}$  м.

Домен об'єднує мільярди атомів; в межах одного домена магнітні моменти всіх атомів орієнтовані строго паралельно.

Хоча теорія Вейсса добре описує властивості ферромагнетиків, вона не може пояснити, звідки береться самопроизвольна намагніченість доменів. Таке пояснення дається квантовою гідродинамікою.

На основі вказаних представлень були проведені експерименти по дослідженню магнітних полів, створюваних неодимовими постійними магнітами. Розроблено і виготовлено установку по вивченню діаманітної левітації постійних магнітів. Визначені особливості, параметри і несуча здатність левітуючого магніта. Особливо слід підкреслити, що при експериментах не виробляється підвод енергії ззовні. При розробці методики проведення спроб використовуються положення квантової гідродинаміки.

Результати проведених досліджень дають основу для розробки нетрадиційних джерел енергії.

### **Підходи до визначення втрат електроенергії в контактній мережі**

Полянська Ю.М., ДНУЗТ

Залізниця – потужний споживач електричної енергії, зокрема в минулому році було використано 6 216,8 млн. кВт год. Втрати електроенергії в контактній мережі складають 10% на постійному струмі та 5% на змінному.

Точне визначення втрат електроенергії в контактній мережі – актуальна задача. Знання точної картини втрат дозволить намітити шляхи по їх зменшенню.

Втрати електроенергії в контактній мережі визначаються прямими та непрямими методами. Прямі методи базуються на розрахунку втрат, а непрямі – на безпосередньому вимірюванні втрат електроенергії в контактній мережі за допомогою спеціальних лічильників втрат.

Для розрахунку втрат електроенергії розроблено велику кількість методів, кожен з яких використовує свій об'єм інформації та засновується на деяких припущеннях, пов'язаних з відсутністю повної інформації. При визначенні втрат електроенергії в залежності від технологічних різниць між електричними мережами та повноти інформації про параметри їх режимів роботи застосовують наступні методи: оперативний, характерних режимів, характерних діб, числа годин найбільших втрат, середніх навантажень.

Залізниця – досить специфічний споживач електроенергії, який має ряд особливостей, а саме переміщення навантаження в часі та просторі.

Відповідно до нормативних документів електроенергетики України, кількість електроенергії, що купується на власні потреби суб'єктом господарювання, визначається на межі балансового розмежування з енергопостачальною організацією. Залізниця, купуючи електроенергію для власних потреб, проводять її транспортування кінцевому споживачеві власними електромережами. При цьому в електромережах відбуваються втрати електроенергії. Відпуск електроенергії споживачу, у тому числі і на тягу поїздів, здійснюється за розрахунковими (комерційними) лічильниками обліку. Виходячи з цього, відпуск електроенергії на тягу поїздів здійснюється за лічильниками електроенергії, що встановлені на тягових підстанціях, з урахуванням втрат електроенергії від межі з енергопостачальником до місця встановлення даного лічильника. Втрати визначаються розрахунковим шляхом на основі «Методики по розрахунку втрат електроенергії в трансформаторах і лініях електропередач». Крім втрат в лініях електропередач і

трансформаторах тягових підстанцій при передачі електроенергії на електрорухомий склад відбуваються втрати електроенергії в контактній мережі. Їх визначають відповідно до «Інструкції по розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання».

Підвищити точність та ефективність визначення втрат електроенергії можна за допомогою непрямого методу. Метод виміру втрат полягає в реєстрації величини ампер – квадрат – годин на фідерах тягових підстанцій. Лічильник втрат електроенергії показує величину втрат в залежності від виміряного квадрату струму та розрахункового коефіцієнта втрат. Серед останніх розробок відомий лічильник Альфа А1800 з функцією обліку втрат та спеціалізований програмний пакет Metercat (AlphaPlus W2.1).

## **Діагностування тягових трансформаторів як інструмент ресурсозбереження**

Полях О.М., к.т.н., ДНУЗТ

Сучасні тягові підстанції електрифікованого залізниць являють собою електроустановки, призначені для комплексного електропостачання електрорухомого складу, не тягових залізничних споживачів, включаючи споживачів пристроїв СЦБ, і не залізничних промислових та сільськогосподарських споживачів.

На залізницях України тягове електропостачання здійснюється від стаціонарних тягових підстанцій, з них 30% змінного струму. Від загальної кількості тягових підстанцій з терміном служби понад 30 років працюють 79%. Технічний стан підстанцій відображається структурою основного силового обладнання: трансформатори, перетворювачі, високовольні вимикачі, релейний захист.

Згідно з нормативними документами термін служби трансформатора складає не менше 25 років, при цьому через 12 років необхідно виконувати капітальний ремонт згідно додатку 2 Інструкції № ЦЕ-0024.

Система ТО і Р (технічного обслуговування і ремонту) на сьогоднішній день планово-попереджувальна що є основним і найбільш методично забезпеченим видом технічного обслуговування і ремонту, який існує зараз на залізниці. Мета планово-попереджувального ремонту полягає у виключенні відмов тягових трансформаторів, основного електрообладнання і непередбачених витрат шляхом планування проведення технічного обслуговування раніше моменту середньостатистичної відмови із заданою ймовірністю.

Тягові трансформатори характеризується різноманітністю вузлів, що входять в них та характером і мірою їх навантаження, як наслідок, різними рівнями надійності цих вузлів. У реальних умовах експлуатації не існує взаємозв'язку між напрацюванням або терміном експлуатації і технічним станом обладнання. Тому оптимальних термінів виконання технічного обслуговування та ремонту для складного об'єкта тягового трансформатора в цілому практично не існує.

Для груп однотипного обладнання тягових трансформаторів різноманітність і стохастичний характер впливу кліматичних умов, експлуатаційних факторів: режимів і тривалості роботи, температурних характеристик робочих і навколишнього середовища, тривалості експлуатації, якості технічного обслуговування і ремонту; призводять до того, що при одній і тій же тривалості експлуатації однотипне обладнання має різний фактичний технічний стан.

Проаналізувавши такий стан проведення ТО і Р тягових трансформаторів можна зробити висновок: що зараз планово-попереджувальний ремонт широко застосовується для всього парку тягових підстанцій. Виконується значний обсяг обслуговування

бездефектного обладнання. Як наслідок, це веде до підвищення експлуатаційних витрат. Як показує практика у ряді випадків надійність роботи електрообладнання після ТО і Р тимчасово знижується внаслідок післяремонтних відмов.

Передбачити дійсну картину виникнення неполадок для кожної окремої одиниці тягового трансформатора за календарним терміном служби неможливо, тому ТО і Р не є ефективним. У зв'язку з цим, виникла необхідність в якісній перебудові системи ТО і Р на основі впровадження прогресивних стратегій обслуговування.

Експлуатаційний досвід та теоретичні дослідження електрообладнання трансформаторів за кордоном показують, що найбільш ефективною і перспективною є система ТО і Р за станом у поєднанні з використанням в обмежених межах стратегій ТО і Р з напрацюванням. Основним принципом в стратегії обслуговування і ремонту за станом важаться дотримання плановості виконання частини стандартних регламентних операцій з напрацювання, робіт з технічного діагностування та контролю об'єктів. Регульовальні, демонтажно-монтажні, відновлювальні роботи на об'єктах виконуються тільки за результатами діагностування та контролю.

Для вирішення проблеми переходу до ремонту тягових трансформаторів по фактичному стану одним з головних шляхів є створення ефективного, постійного контролю технічного стану трансформаторів в процесі експлуатації в реальному часі, а сама діагностика була більш точною з меншими витратами коштів.

Другим, ширше застосовувати інформацією від АСКОЕ та інформаційно-діагностичних систем «Регіна». Невирішеною проблемою при застосуванні цих систем є визначення коефіцієнтів для прийняття рішення стану тягового трансформатора.

Третім, визначення методів випробувань і склад технічних засобів комплексної діагностики тягових трансформаторів методам діагностування, які дають можливість організувати контроль електрообладнання без його відключення, під робочою напругою. Розробка нової теоретичної бази для проведення комплексної оцінки технічного стану всієї номенклатури електрообладнання тягового трансформатора.

Необхідно також вирішити питання механізму подовження строку служби тягових трансформаторів та сформулювати науково обґрунтовані нормативні документи.

### **Моделювання перехідних електромагнітних процесів в системах тягового електропостачання**

Рудевіч Н.В., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

В теперішній час розповсюдженим методом дослідження в електричних системах є імітаційне моделювання. Це в першу чергу пов'язано зі складністю проведення експериментів на реальних об'єктах електроенергетичної системи. Не винятком є і системи тягового електропостачання, дослідження процесів в яких зручно проводити за допомогою комп'ютерних моделей. Першочерговою задачею є складення математичних моделей елементів системи, що розглядається. Точність дослідження залежить від точності побудованих математичних моделей елементів системи, точність яких, в свою чергу, визначається повнотою відображення фізики процесів. Так для кожного елемента системи тягового електропостачання треба визначити такий вид математичної моделі, який би по точності задовольняв кожній конкретній задачі. Відомі роботи, де для дослідження електромагнітних перехідних процесів представлені математичні моделі

системи тягового електропостачання в спрощеному вигляді, тобто кожний елемент в загальному випадку заміщений послідовним з'єднанням активного опору, індуктивності та ємності. Зрозуміло, що точність такої математичної моделі досить низька. Відомі роботи, де при формуванні математичної моделі системи тягового електропостачання використовують більш точні моделі елементів для розрахунку сталого режиму. Актуальною задачею при дослідженні питань, пов'язаних з електромагнітними перехідними процесами в системах тягового електропостачання, є побудова моделей, де би елементи системи описувались найбільш повними рівняннями електромагнітного стану. Вже існують роботи, де дослідження проводиться за допомогою найбільш повних математичних моделей для окремо виділених елементів, при умові, що інші елементи представлені в максимально спрощеному вигляді або зовсім не враховуються. З широким використанням обчислювальної техніки з'являється можливість більш точного вивчення процесів використовуючи повні математичні моделі елементів системи. Розповсюдженим інструментом дослідження є програма Matlab, яка дозволяє створювати комп'ютерні моделі елементів системи на базі математичних моделей будь-якої складності або використовувати віртуальні моделі елементів, що є в її бібліотеці. Недоліком використання існуючих віртуальних моделей елементів є те, що не завжди в них враховані усі впливаючі чинники, а також неможливість моделювання аварійної ситуації в самому елементі. Доцільно самостійно створювати комп'ютерні моделі, використовуючи такий вид математичної моделі кожного елементу, який би задовольняв усім вимогам. При цьому моделювання зручно проводити в фазних координатах. Важливим етапом є реалізація математичних моделей кожного елементу в такому вигляді, який би був зручний для формування комп'ютерної моделі всієї системи тягового електропостачання з можливістю дослідження основних параметрів режиму. Також важливою задачею при створенні комп'ютерної моделі системи є наведення паспортних параметрів кожного елементу до параметрів моделі, виражених в іменованих одиницях. При цьому доцільно в середовищі Matlab створити файл, в якому би розраховувались параметри моделі при зміні параметрів елементів. Ще одна задача, яка виникає при створенні комп'ютерної моделі – це розрахунок початкових умов, щоб процес моделювання міг розпочинатися з будь-якого режиму. Це можливо реалізувати також за допомогою створення файлу, де би був прописаний алгоритм, по якому здійснювався розрахунок.

### **Підвищення ресурсу роботи швидкодіючих вимикачів постійного струму**

Рябокін Б.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені ак. В.Лазаряна

Заміна морально та технічно-застарілого обладнання на існуючих тягових підстанціях та застосування устаткування останнього покоління на нових підстанціях є обов'язковим кроком при впровадженні швидкісного руху на залізницях України.

Швидкісні залізничні магістралі, що з'являться в найближчому майбутньому на території Донецької, Придніпровської та Львівської залізниць, будуть електрифіковані постійним струмом.

На тягових підстанціях постійного струму застосовуються швидкодіючі вимикачі, які не тільки морально, а й технічно застарілі, а деякі з них вже навіть не відповідають сучасним вимогам з точки зору швидкодії відключення, струмообмеження, та появи перенапруги при усуненні коротких замикань в тяговій мережі.



Саме ці вимикачі, що в першу чергу є частиною захисту тягової мережі від коротких замикань, забезпечують надійний розрив струму короткого замикання, а в результаті отримують великий знос головних контактів та дугогасильної камери.

Для покращення умов відключення та збільшення ресурсу роботи дугогасильної камери і контактів вимикача необхідно вдосконалювати існуючі та розробляти нові розрядні пристрої, основним призначенням яких є поглинання частини накопиченої в тяговій мережі електромагнітної енергії, тим самим зменшуючи її виділення в дугогасильній камері вимикача. Крім того, в результаті зменшення енергії дуги на контактах зменшується підгоряння останніх, та збільшення міжремонтного строку.

На сьогоднішній день при зміні застарілих типів вимикачів (наприклад АБ-2/4) на вимикачі останніх розробок, а також при будівництві нових тягових підстанцій постійного струму (зокрема будівництво РП-3,3кВ з комірками викотного типу) змінюється принцип підключення таких вимикачів: замість подвійного (послідовного) виконання фідерних автоматів, сучасні вимикачі встановлюються поодинокі, так як їх характеристики відключення, заявлені заводами-виробниками, дозволяють це робити.

Але, зважаючи на те, що при такій зміні обладнання, кількість електромагнітної енергії, що припадає на дугогасильну камеру одного вимикача, збільшується, незаперечним є і той факт, що знос головних контактів відбувається інтенсивніше.

В доповіді приведені результати дослідження коротких замикань в тяговій мережі постійного струму при різних режимах роботи розрядних пристроїв. Наведені результати впливу розрядного пристрою на виділення енергії в дугогасильних камерах швидкодіючих вимикачів, а також запропоновано модернізований розрядний пристрій.

### **Вероятностные подходы при анализе дуговых перенапряжений в сетях с изолированной нейтралью**

Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К., Попов А.С., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются преобладающим видом повреждений в электрических сетях всех уровней напряжений. В сетях с изолированной нейтралью их доля составляет порядка 70-80% и всех видов повреждений изоляции. В большинстве случаев существование режима ОЗЗ в сети становится первопричиной возникновения значительных аварийных ситуаций, что в первую очередь обусловлено появлением дуговых перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю (ОДЗ). Во многом именно характер горения заземляющей дуги определяет особенности протекания процесса ОЗЗ и кратности дуговых перенапряжений.

Кратности дуговых перенапряжений во многом детерминированы напряжением пробоя дугового промежутка в режиме ОДЗ. Многочисленные исследования показывают, что кратность перенапряжений растет пропорционально увеличению напряжения пробоя. Это объясняется тем, что избыточный заряд, который получает нейтраль в момент пробоя изоляции, определяется именно напряжением пробоя. В свою очередь напряжение смещения нейтрали накладывается на ЭДС источника питания и формирует дуговые перенапряжения.

Процесс горения заземляющей дуги можно разделить на два этапа. Первый – это начальная стадия горения дуги. В этом периоде дуга горит нестабильно, принято считать, что напряжение пробоя в этом режиме изменяется случайным образом. Во втором периоде процесс горения приближается к периодическому. На этом периоде напряжение пробоя практически постоянно во времени, причем его величина оказывается ниже, чем

на первой стадии. Поэтому кратность перенапряжений на втором этапе оказывается ниже, чем на первом.

Исследования дуговых перенапряжений в действующих сетях показывают, что кратность дуговых перенапряжений на обеих стадиях горения дуги в большинстве случаев подчиняется нормальному закону распределения. Отличие между двумя стадиями горения дуги заключается в статистических характеристиках закона распределения.

Определенный научно-практический интерес в проблеме исследования дуговых перенапряжений представляет количественная оценка кратности перенапряжений и вероятности их появления в условиях конкретной сети. Данная задача может быть решена с использованием вероятностных подходов. Важным аспектом при решении данной задачи является наличие статистических данных о переходных процессах ОДЗ.

Возможно несколько способов решения проблемы отсутствия статистических данных. Наиболее достоверный – регистрация переходных процессов непосредственно в исследуемой сети на некотором временном промежутке. На основе полученных данных формируется выборка кратности дуговых перенапряжений, определяется закон распределения случайной величины и его статистические параметры. Используя эти результаты появляется возможность выполнить координацию изоляции, т.е. согласование уровня электрической прочности изоляции и ожидаемой кратности перенапряжений, что крайне актуально для сетей с высоковольтными двигателями, поскольку они имеют минимальный запас электрической прочности изоляции.

Вторым способом является использование имеющихся статистических данных. В таком случае для получения приемлемой точности статистические данные должны быть взяты для сети, которая максимально тождественна с исследуемой (близкий ток ОЗЗ, однотипные кабельные линии и срок их эксплуатации и т.д.).

#### **Анализ влияния показателей качества электроэнергии на энергетические показатели преобразователей частоты регулируемого электропривода**

Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К. ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Преобразователи частоты являются мощными источниками гармонических искажений, т. е. приводят к появлению несинусоидальных режимов в электрических сетях, что негативно сказывается на работе других устройств, получающих питание от тех же шин, что и преобразовательные устройства. С другой стороны, при подключении преобразователей частоты к источнику питания (узлу системы электроснабжения) с параметрами, не соответствующими требованиям качества электроэнергии, ухудшаются энергетические показатели преобразователей.

При решении вопросов электромагнитной совместимости преобразователей частоты с питающей сетью чаще всего рассматривается вопрос влияния преобразователя на сеть. В связи с этим, представляется целесообразным рассмотреть наименее исследованную проблему влияния некачественной электроэнергии питающей сети на энергетические показатели преобразователей частоты регулируемого электропривода.

К важнейшим энергетическим показателям качества электромагнитных процессов, протекающих в преобразовательных устройствах, относятся:

- коэффициенты преобразования устройства по напряжению и току;
- коэффициенты искажения тока и напряжения;
- коэффициент гармоник тока (коэффициент несинусоидальности);
- коэффициент сдвига тока относительно напряжения по первой гармонике;

- коэффициент мощности;
- коэффициент полезного действия;
- энергетический коэффициент полезного действия;
- коэффициент пульсаций для цепей постоянного тока.

Для расчета энергетических показателей процессов необходимо знать:

- действующие значения первых гармоник напряжения и тока и угол сдвига между ними;
- действующие значения напряжения и тока;
- действующие значения высших гармоник напряжения и тока;
- активную и реактивную мощности цепи.

Их можно рассчитать одним из трех методов: интегральным, спектральным, прямым. Однако любой аналитический метод исследования электромеханических систем с преобразователями частоты является громоздким и предполагает введения целого ряда допущений. В этом случае наиболее приемлемым методом исследования может являться метод имитационного моделирования.

Для исследования проблемы электромагнитной совместимости преобразователей частоты с питающей сетью была разработана имитационная модель вентильного двигателя с помощью инструмента визуального моделирования Simulink пакета MATLAB.

Предложенная имитационная модель позволила проанализировать работу исследуемой системы с учетом пульсаций выпрямленного напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты.

Целесообразность использования метода имитационного моделирования было подтверждено исследованием работы системы вентильного двигателя в условиях эксплуатации на машиностроительном предприятии.

### **Устройство защиты трансформаторов напряжения от феррорезонансных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью**

Саенко Ю.Л., Нестерович В.В, Попов А.С.

ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Возникновение режима феррорезонанса возможно во всех электрических сетях, содержащих емкость и нелинейную индуктивность. В электрических сетях с изолированной нейтралью феррорезонансные процессы (ФРП) развиваются между фазной емкостью сети и нелинейной индуктивностью трансформаторов напряжения контроля изоляции (ТНКИ). Исследование ФРП в действующих сетях, а также их моделирование показало, что наиболее вероятный диапазон частот, на которых развиваются феррорезонансные колебания, лежит в диапазоне 17-200 Гц.

Наиболее часто встречающимся случаем является субгармонический феррорезонанс на частоте 25 Гц, поэтому большинство защит ориентировано именно на этот тип феррорезонанса. Такие колебания возникают при отключении или самоустранении однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Наличие составляющей пониженной частоты в спектре напряжения нулевой последовательности и фазных напряжений приводят к возникновению сверхтоков в обмотке высокого напряжения и повреждению самого ТНКИ. Перенапряжения в этом режиме, как правило, не превосходят величины  $2U_{\phi}$ , поэтому не опасны для сети.

ФРП на частотах 50 Гц и выше возникают при емкости сети порядка десятки-сотни пФ и могут сопровождаться перенапряжениями кратностью  $3U_{\phi}$  и выше. Такие колебания

возникают в результате различного рода коммутаций, например включение холостых шин с ТНКИ под напряжение, подключение или отключение участка сети и т.д. Повреждение трансформатора напряжения в таком режиме, как правило, не происходит.

В рамках исследования проблемы феррорезонанса разработано устройство защиты от феррорезонанса, срабатывающее как при субгармонических феррорезонансах, так и при колебаниях на частотах 50 Гц и выше. При возникновении феррорезонанса в сети к обмотке разомкнутого треугольника ТНКИ подключается резистор величиной 8 Ом на время 3 секунды. Расчеты показали, что на всем диапазоне существования феррорезонанса резистора такой величины достаточно для срыва колебаний. В устройстве также предусмотрена блокировка от «зацикливания». В случае если количество срабатываний устройства превысит 3 раза за 5 минут или 10 раз за 20 минут, срабатывание устройства блокируется.

В основу устройства положен микроконтроллер, выполняющий все логические и арифметические операции. В режиме реального времени производится мониторинг напряжения  $3u_0$  на выводах обмотки разомкнутого треугольника. Выборка осуществляется в течение 1 секунды с частотой дискретизации 1024 Гц. К полученному массиву значений применяется алгоритм быстрого преобразования Фурье. С учетом выявленной взаимосвязи между появлением режима феррорезонанса и искажением напряжения  $3u_0$  сформированы уставки срабатывания устройства. Так, например, уставка срабатывания устройства для субгармонических ФРП составляет 30 В; для ФРП на частотах выше 50 Гц уставка срабатывания составляет 50 В.

В устройстве предложена блокировка от ложных срабатываний при перемежающихся дуговых ОЗЗ. Идентификация режима перемежающегося дугового замыкания основана на измерении скорости изменения напряжения  $3u_0$ , которая состоит в вычислении производной напряжения  $3u_0$ . Производная вычисляется для сигнала, оцифрованного с частотой дискретизации 16384 Гц. В случае, если модуль функции  $|d(3u_0)/dt|$  составляет  $2 \cdot 10^6$  В/с и более, срабатывание устройства блокируется.

## **Історія виникнення та еволюція лічильників втрат**

Самолук Я. Я., ДНУЗТ

Величина втрат електроенергії в елементах системи електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі. Точне вимірювання втрат прямими методами в системі тягового електропостачання неможливе через стохастичний характер навантаження. Найбільш перспективний спосіб визначення втрат енергії в тягових мережах – використання електронних лічильників втрат, встановлених на фідерах контактної мережі та реєструючих інтегральне значення ампер - квадрат - годин.

Історія питання розпочинається у 70-ті роки. Відома розробка Ростовського інституту інженерів залізничного транспорту лічильника втрат електроенергії Ф440П на базі електроного лічильника електроенергії Ф440 змінного струму. Метод виміру втрат енергії заснований на реєстрації величини ампер-квадрат-годин на фідерах тягових підстанцій. Лічильник встановлюється на живлячому фідері, вимірює ампер-квадрат-годин в одиницю часу та масштабує їх до втрат електроенергії постійним коефіцієнтом, який фізично представляє собою опір тягової мережі на плечі прикладання еквівалентного навантаження. До лічильника вводився коефіцієнт пропорційності втрат, який враховується в передаточній функції перехідного пристрою, і лічильник показує одразу втрати електроенергії.

На основі серійно випускаемого лічильника кіловат – годин постійного струму типу СКВТ – Ф 607 був створений електронний лічильник ампер – квадрат – годин СКВТ – Ф 607П. Коефіцієнт налаштування визначався на імітаційній моделі. В якості вихідних даних використовуються результати тягових розрахунків, параметри системи електропостачання та розміри руху. Враховувались можливості стоянок і обгонів вантажних і пасажирських поїздів при імовірнісній моделі графіка руху.

Подібний лічильник втрат електроенергії можна реалізувати і на сучасній елементній базі, сполучаючи комерційний облік електроенергії з розрахунком втрат на базі єдиного пристрою, наприклад, лічильника АЛЬФА Плюс (A2) та спеціалізованого програмного пакету AlphaPlus\_LS. Використовуваний у лічильнику алгоритм розрахунку дозволяє враховувати втрати в трансформаторі окремо або разом із втратами в лінії. В останньому випадку втрати в трансформаторі й лінії підсумуються. Залежно від умов договору між споживачем і виробником електроенергії, у точці установки лічильника можливий облік втрат як зі знаком плюс, так і зі знаком мінус. У першому випадку комерційні дані збільшуються з обліком зафіксованих втрат і відповідальним за оплату втрат є споживач (якщо лічильник установлений у споживача). У другому випадку комерційні дані зменшуються на величину втрат і відповідальним за втрати є виробник електроенергії (якщо лічильник установлений у виробника). Лічильник також дозволяє враховувати втрати із занесенням їх у комерційні дані з урахуванням договірних умов у діапазоні від 1% до 100% із кроком збільшення 1%.

Остання розробка компанії Ельстер Метроніка - мікропроцесорний лічильник електроенергії Альфа A1800 з функцією обліку втрат (в модифікації лічильника присутня літера V) та спеціалізований програмний пакет Metercat (AlphaPlus W2.1). Лічильники Альфа A1800 призначені для вимірювання та обліку активної і реактивної енергії в колах змінного струму в одно-або багато тарифному режимах; для використання в складі автоматизованих систем контролю й обліку електроенергії (АСКОЕ) і передачі вимірюваних або обчислених параметрів на диспетчерській пункт.

Історія розвитку лічильників зазнала значних змін розпочинаючи від примітивних електронних лічильників до сучасних лічильників побудованих на основі мікропроцесорної техніки.

### **Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій**

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

В даний час зросли вимоги до ефективності, оперативності управління і організації процесу експлуатації силового електроустаткування тягових підстанцій (ТП), що особливо гостро відчувається під час реформування галузі. В умовах конкуренції між енергокомпаніями на перший план стає завдання економічної оцінки тактики експлуатації, моніторингу і діагностики стану електрообладнання ТП та енергозбереження на залізницях України. На цей час зростає розуміння економічної доцільності якісної технічної діагностики електроустаткування з наступних причин: більше половини парку силового електроустаткування ТП виробила розрахунковий ресурс і темпи старіння вище темпів оновлення парку; унаслідок, економії засобів на оновлення та технічне обслуговування (ТО) і переходу на ремонти по технічному стану.

Тому актуальність даного питання обумовлена тим, що вдосконалення критеріїв діагностики і методів аналізу діагностичної інформації підвищує об'єктивність оцінки технічного стану високовольтного силового електроустаткування ТП та дозволяє планувати і своєчасно проводити необхідні операції технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), що робить надійнішою експлуатацію електроустаткування, подовжує ресурс його роботи, економить засоби, знижує ризики збитків і позитивно позначається на енергозбереженні.

При реформуванні галузі також загострюється дефіцит високо - кваліфікованих фахівців із-за: розподілу кадрових ресурсів по нових організаційних структурах; порушення системи підвищення кваліфікації персоналу; розриву в передачі досвіду між поколіннями, тощо .

В цих умовах необхідно проводити заходи з вдосконалення системи діагностики силового електроустаткування високої напруги шляхом створення нових методів і критеріїв багатоаспектної оцінки його технічного стану з розробкою інформаційно-аналітичної системи (ІАС), яка дозволить забезпечити максимально можливе, економічно виправдане продовження терміну служби електроустаткування.

Для створення ІАС необхідно вирішити ряд основних завдань:

- визначити вимоги до ІАС по обов'язковому інформаційному вмісту, а також необхідному і достатньому переліку виконуваних функцій;
- розробити ІАС ТО і Р силового електроустаткування ТП на структурно-функціональному і інформаційному рівнях з врахуванням виявленої специфіки предметної області, база даних якої міститиме інформацію для виконання багатоаспектного техніко-економічного аналізу устаткування;
- прийняти єдину методологію збору, обміну, обробки і аналізу інформації про технічний стан устаткування, експлуатаційні заходи і ремонти та діагностування на всіх ТП ЕЧ;
- узагальнити і формалізувати знання ТО високовольтного силового електроустаткування ТП;
- розширити і поліпшити нормативну базу системи діагностики;
- запропонувати нові методи аналізу діагностичної інформації і методики здобуття критеріїв діагностики:
  - а) розробити методику багатоаспектної діагностики для виведення загального рішення про стан устаткування по сукупності оцінок стану об'єкту на підставі різних видів контролю;
  - б) розробити методики синтезу опису класів стану силового електроустаткування ТП на основі статистики пошкоджень, тощо.
- розробити методику планування ТО і Р, а також заміни високовольтного устаткування шляхом його ранжирування з врахуванням оцінок технічного стану за допомогою ІАС, ризику відмови і оцінки експлуатаційних витрат;
- вивчити і вибрати методи аналізу структури експлуатаційних витрат з метою їх мінімізації і вибору найбільш вигідних варіантів інвестування;
- розробити методику аналізу причин виходу з ладу устаткування на підставі актів розслідування відмов, описів ремонтів, тощо;
- реалізувати ІАС, включаючи всі її підсистеми, методики і алгоритми на мові програмування;
- виробити найбільш ефективну технологію впровадження, супроводу ІАС;
- провести атестацію діагностичних можливостей ІАС і аналіз ефекту її використання.

Таким чином, створення інформаційно-аналітичної системи дозволить здійснювати багатоаспектну та достовірну, оцінку техніко-економічного стану силового

електроустаткування тягових підстанцій з використанням нових методів і критеріїв оцінки, які підвищують оперативність і якість організації ТО устаткування і сприяють навчанню персоналу та є актуальним завданням підвищення надійності силового устаткування ТП, продовження строку служби, підвищення енергоефективності та енергозбереження на електрифікованих залізницях України.

### **Експлуатація кондиціонерів пасажирських вагонів в теплонасосному режимі**

Титаренко І.В., ДПТ

Перевезення пасажирів у залізничному рухомому складі вимагає створення певних умов, за яких людина нормально відпочивала би на шляху прямування та не піддавалася аномальним фізіологічним впливам навколишнього середовища. Ця складна проблема включає в себе цілий комплекс питань, пов'язаних як з динамікою рухомого складу, так і з параметрами внутрішньовагонного повітряного середовища.

При перевезенні пасажирів у вагонах повинні бути створені наступні умови: температура повітря в пасажирському вагоні в зимовий час 18...22 °С (незалежно від зовнішньої температури), влітку 22...26 °С залежно від температури зовнішнього середовища; нерівномірність температурного поля повітря у вагоні в межах 3 °С; відмінність в температурах повітря і внутрішніх поверхонь конструктивних елементів вагона не більше 5 °С; швидкість циркуляції повітря в зонах перебування пасажирів 0,25 м/с; вміст вуглекислоти в повітрі у вагоні менше 0,1...0,2 %; підпір повітря у вагоні не менше 3 мм вод. ст.; фільтрація повітря, що надходить у вагон, із затриманням пилу розміром до 1...2 мкм з кінцевим вмістом пилу не більше 2 мг/м<sup>3</sup>; відносна вологість повітря у вагоні 30...70 %.

З початком широкого розвитку холодильної техніки в пасажирських вагонах стали впроваджуватися кондиціонери, які крім вже виконуваних раніше вентиляції та опалення, взяли на себе функції забезпечення цілорічного термовологісного режиму у вагоні, який відповідає перерахованим вище комфортним умовам.

Важливо відзначити, що для вагонів широкого полігону експлуатації, опалення вимагає значно великої витрати енергії. Так при температурах -20...-30 °С, необхідна опалювальна потужність буде 25-30 кВт на один вагон. Ось чому, навіть за наявності системи кондиціювання зберігається або водяний опалювальний контур, або безпосередній електричний нагрів.

Створення оборотної системи кондиціонер-тепловий насос для пасажирських вагонів з широким полігоном обігу являє собою досить складне технічне завдання. Вирішення поставленої задачі можливо наступними шляхами: збільшення об'ємної продуктивності компресора (збільшення розмірів циліндра і частоти обертання); застосування внутрішнього регенеративного теплообміну; здійснення двоступеневого стиснення з проміжним охолодженням агента, утилізацією тепла дефлекторного повітря; перехід до більш низькокиплячих агентів (наприклад, R- 22).

Одним з можливих джерел низькопотенційної теплоти для теплового насоса в пасажирському вагоні може бути використання теплоти повітря, що видаляється з вагона. Це повітря має температуру внутрішньовагонного середовища, тобто близько 20 °С. Однак у всіх випадках, крім теплонасосного опалення, теплота цього повітря є втратою. Воно не може бути безпосередньо повернуто у вагон, так як повітря, що йде до дефлекторів, крім іншого, проходить через туалети. При роботі кондиціонера в режимі теплового насоса це повітря може бути спрямоване на змішування з зовнішнім, що омиває

поверхню випарника (конденсатора холодильної установки), та має підвищити його температуру і відповідно температуру випару холодоагенту.

Утилізація тепла повітря, що викидається через дефлектори, складніша, ніж просте перетворення холодильної установки. Однак це виправдовується значною економією енергетичних ресурсів, а при автономній тязі має призвести до підвищення корисної потужності і тягових властивостей пасажирських тепловозів.

### **Підвищення енергоефективності тягових підстанцій постійного струму залізниць України при організації швидкісного руху пасажирських потягів.**

Хворост М.В. д.т.н., проф., Божко В.В. к.т.н.

Останнім часом на електрифікованих залізницях постійного струму впроваджуються сучасні технічні засоби тягового електропостачання на базі керованих перетворювачів. І тут, як найбільш проста, дешева та надійна схема, зарекомендувала себе дванадцятипульсна схема з фазовим регулюванням. Однак до головних недоліків тиристорних перетворювачів, що виконані за даною схемою випрямлення відноситься порівняно високий рівень спотворення живлячої напруги, достатньо велика складова реактивної потужності, що споживається, а також підвищений вміст гармонічних складових у випрямленій напрузі при її регулюванні. Сучасні дванадцятипульсні випрямлячі недостатньо повно вирішують задачі стосовно регулювання рівня напруги на тягових шинах підстанції з метою стабілізації її на струмоприймачах швидкісного електрорухомого складу, швидкодіючого безконтактного захисту при коротких замиканнях у тяговій мережі, доведення якості електроенергії в живлячій і тяговій мережах до рівня Євростандартів, зменшення установленої потужності вихідних фільтрів і т.п.

Тому, перспективним є компромісний варіант малопотужного перетворювального агрегату для підвищення ефективності перетворювачів тягових підстанцій постійного струму напруги 3,3 кВ, при якому на новій напівпровідниковій елементній базі виконується широтно-регульований перетворювач з діапазоном регулювання порядку  $\pm 20\%$  і відповідною встановленою потужністю, а основна частина потужності постачається традиційним перетворювачем на діодах або одноопераційних тиристорах. Така система забезпечує не тільки підвищення якості електроенергії, що споживається та стабілізацію напруги на шинах тягових підстанцій але й вирішує задачі стабілізації напруги на струмоприймачах швидкісного електрорухомого складу; фільтрацію низькочастотних неканонічних і канонічних вихідних гармонік з метою зменшення установленої потужності або повної відмови від використання громіздких дроселів фільтрів та резонансних контурів; швидкодіючий захист при коротких замиканнях у тяговій мережі при реалізації бездугового відключення комутаційних апаратів. Таким чином для подальшого підвищення ефективності перетворювальних агрегатів тягових підстанцій постійного струму залізниць України необхідно починати робити перші кроки по впровадженню перетворювальних агрегатів на новій елементній базі.



## **Энергоэффективные системы электроснабжения железнодорожного транспорта на базе двенадцатифазных преобразовательных агрегатов с общими для шестифазных блоков компенсирующими устройствами**

Хохлов Ю.И., Дзюба М.А., Хлопова А.В., Южно-Уральский государственный университет, Сабиров Р.Н., Южно-Уральская железная дорога

Эффективными направлениями решения проблемы энергосбережения в системах электроснабжения (СЭС) электрифицированных на постоянном токе железных дорог являются компенсация реактивной мощности, повышение жесткости внешней характеристики выпрямительных агрегатов, обеспечивающей поддержание необходимого уровня напряжения в контактной сети и работу СЭС при меньших потерях электрической энергии, а также рекуперация энергии торможения в питающую сеть.

Применяемые, в настоящее время, в СЭС железнодорожного транспорта некомпенсированные двенадцатифазные выпрямительные агрегаты состоят из двух шестифазных блоков с последовательным по отношению к контактной сети включением диодных выпрямительных мостов. С целью реализации указанных направлений целесообразно включение в выпрямительные агрегаты общих для шестифазных блоков компенсирующих устройств в виде реактора и конденсаторной батареи. При этом становится возможным формировать на конденсаторах осуществляющее опережающую одноступенчатую искусственную коммутацию вентилей напряжение либо с ансамблем, содержащим 5,7,17,19, гармоники, либо с ансамблем, содержащим 1,11,13,23,25, гармоники.

В первом случае при обычном исполнении выпрямительных агрегатов обеспечиваются необходимые степень компенсации и саморегулирование реактивной мощности, а также жесткость внешней характеристики при минимальной установленной мощности компенсирующего устройства. На тех подстанциях, где не требуется плавное регулирование напряжения в контактной сети и малоэффективен режим рекуперации электрической энергии, указанное решение является достаточным. На подстанциях, где по условиям работы электрического транспорта и питающей сети возникает необходимость в плавном регулировании выпрямленного напряжения в контактной сети и целесообразна рекуперация энергии торможения, предлагается использовать векторное управление с помощью обратной связи на основе автономного инвертора напряжения (АИН) с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией. При этом на двухагрегатных подстанциях с помощью АИН того и другого выпрямительных агрегатов одновременно становится возможной компенсация и мощности искажения путем перевода СЭС в двадцатичетырехфазный режим преобразования.

Во втором случае при тиристорном исполнении преобразователей рекуперация энергии торможения осуществляется путем перевода агрегатов в инверторный режим работы. Естественным является повышение установленной мощности компенсирующего устройства из-за снижения частоты напряжений на его элементах. Однако в данном случае достигается существенный эффект повышения устойчивости инверторного режима преобразователей, т.е. предотвращение режима их опрокидывания, которое имеет место в некомпенсированных преобразователях.

В докладе приводятся результаты анализа электромагнитных процессов в СЭС с предложенными преобразователями, представлены внешние, энергетические, спектральные и другие характеристики систем. Теоретические исследования подтверждены результатами моделирования в среде MATLAB и на физических моделях. Выполнен расчет всех необходимых для проектирования параметров оборудования СЭС.

## **Нові заходи до зниження витрат енергії в енергетичному господарстві вагонного депо.**

Христян Є.В., Арестов О.П., Івін В.Ф., Михайлов В.С., Цап В.С.

В сучасний час гостро постає проблема економії енергоресурсів в усіх галузях народного господарства, зокрема в залізничному транспорті. Відомі два основних види заходів з енергозбереження:

1) зниження витрат теплової та електричної енергії при роботі системи опалення і вентиляції (підвищення к.к.д. котельних установок, автоматизація роботи систем, використання вторинних енергоресурсів та інші);

2) зниження витрат теплової та електричної енергії у будовах і приміщеннях, що не пов'язані із дією систем електро – і теплопостачання.

Ці заходи носять у більшості організаційний характер. Аналіз їх показує, що всі вони стосуються, перш за все, використання вторинних теплових енергоресурсів.

Колектив викладачів кафедри «Теплотехніка» в якості науково – дослідної роботи провів енергоаудит вагонного депо ст. П'ятихатки і прийняв участь в складанні енергопаспорту депо.

Одним з напрямків енергозбереження запропонована система контролю і оптимізації процесів виробітку і розподілення теплової енергії. Доведено, що для оптимізації роботи системи теплопостачання підприємства необхідний комплексний підхід з постійним оперативним контролем і управлінням витратою енергоносіїв, якості згорання палива, а також параметрами, які характеризують розподілення теплоенергії між споживачами.

Система забезпечує у автоматичному режимі вимірювання і облік основних теплотехнічних параметрів:

- 1) у котельні депо з передачею оператору;
- 2) на теплопунктах з передачею оператору;
- 3) на вводах цехів, ділянок.

Система включає такі підсистеми:

- 1) автоматичного вимірювання і комерційного обліку споживання природного газу;
- 2) оптимізації кількості виробленої теплоти у відповідності до температури зовнішнього повітря і температури холодної води;
- 3) автоматичного вимірювання і оптимізації параметрів процесу згорання природного газу шляхом контролю складу димових газів;
- 4) оптимізації розподілу теплоти між теплопунктами і оперативного контролю режимів роботи розподільчих пунктів;
- 5) автоматичного контролю розподілу теплової енергії між споживачами шляхом вимірювання температури у падаючому і зворотному теплопроводах кожного споживача.

Запропонована система передбачає застосування сучасних технічних і програмних засобів. Вона має бути реалізована із застосуванням сертифікованих вузлів. Ядром системи має бути диспетчерський пункт на базі комп'ютера.

## **Энергосбережение при производстве резинокордных изделий сложной конфигурации**

Шаптала М.В., ДНУЗТ

Основной целью при производстве резинокордных изделий является высокое качество продукции при наименьших затратах энергоресурсов. Эти требования

обусловлены стремлением снижения энергоемкости производства и повышения конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке в условиях непрерывного роста мировых цен на энергоносители. Проведенный анализ существующих методов обнаружил, что они основаны либо на проведении экспериментальных замеров либо расчетах одномерных или двумерных моделей и не способны решать данную задачу с необходимой точностью, поскольку не учитывают многих особенностей процесса вулканизации. Разработана усовершенствованная математическая модель процесса вулканизации, которая отличается от существующих комплексным учетом следующих особенностей: сложной многослойной трехмерной конструкции изделий; наличия внутренних источников теплоты, обусловленных химической реакцией вулканизации; наличия металлического корда в деталях изделий; температурной зависимости теплофизических свойств материалов; тепловые и химические процессы в период окончательного охлаждения изделий на воздухе. Рассмотрение задачи в трехмерной постановке позволяет с высокой точностью выявить наиболее трудно прогреваемую область, которая лимитирует время теплового режима, а также учесть трехмерные тепловые потоки, обусловленные сложной геометрией изделий. Учет многослойной конструкции позволяет оценить качество каждой детали изделия. Внутренние источники теплоты, обусловленные химической реакцией вулканизации, существенно влияют на температурное поле массивных изделий. При расчете учет металлического корда в резиновых деталях, производится заменой резинометаллической системы эквивалентной ей однородной с эффективным коэффициентом теплопроводности, вычисляемым в зависимости от толщины и теплофизических свойств резины и металла. Тепловые и химические процессы в период остывания изделия существенно влияют на вулканизацию во внутренних слоях массивных изделий, поэтому их учет важен при разработке интенсифицированных режимов вулканизации. Для определения энергосберегающего теплового режима вулканизации сформулированы соответствующие критерии. Указанная модель использована для разработки научно-методических основ расчета энергосберегающих тепловых режимов вулканизации многослойных резинокордных изделий сложной конфигурации. На основе указанного метода разработана программа Vulcan3D на языке программирования C++. Расчет нестационарного температурного поля во время нагрева выполняется методом конечных элементов. При верификации программы Vulcan3D применялись известные аналитические решения задачи нестационарной теплопроводности в трехмерной постановке. Выполнены сравнения расчетов тепловых режимов вулканизации существующим одномерным методом приведенной пластины, существующим двумерным методом автономных участков и разработанным трехмерным методом с экспериментальными данными. Наиболее точным оказался разработанный трехмерный. Проведенные расчеты тепловых режимов вулканизации показали, что время вулканизации на 3-15% меньше, в зависимости от конструкции изделия, по сравнению с методом существующими методами. Разработанный метод был внедрен при проектировании режимов вулканизации на ОАО «Днепрошина» и ОАО «Белшина». Предлагаемый метод не требует существенных капиталовложений. Экономический эффект состоит в экономии за счет: сокращения расходов теплоносителей, исключение затрат на проведение температурных измерений на вулканизационном оборудовании, значительного сокращения количества изделий, подвергающихся разрушающему контролю.

## СОДЕРЖАНИЕ

*Абрамчук А.К., Ляшук В. М., (ДНУЗТ)*

**Компенсатори реактивної потужності на базі транзисторного перетворювача з підвищеними регульованими властивостями коефіцієнту потужності..... 3**

*Арпуль С.В., Сильковский А.С., Рукин А.Н., (ДНУЖТ)*

**Выбор параметров номинального режима электроподвижного состава..... 4**

*Базюк Т.М., аспірант, Золотверха І.В., магістрант, ІЕЕ НТУУ «КПІ»*

**Використання активних споживачів з метою зменшення навантаження на електричні мережі ..... 5**

*Базюк Т.М., аспірант, Чернуха Ю.М., магістр, ІЕЕ НТУУ «КПІ»*

**Застосування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання ..... 6**

*Баранюк Р.А., Тодоренко В.А., Тюрютиков А.И., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

**Анализ аварийных режимов работы преобразователей электроэнергии в программной среде PLECS ..... 7**

*Белименко С.С., Ищенко В.А., ООО “Теплотехника”, ДНУЗТ*

**Экспериментальные исследования тепловых режимов работы тепло-электро-аккумуляторов..... 7**

*Божко В. В., к.т.н., Гордієнко Д. О., магістр, Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України (ДНДЦ УЗ), Харківська філія*

**Перспективи розвитку інфраструктури для високошвидкісного руху поїздів в Україні ..... 9**

*Босий Д. О., Дем’яненко А. С., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*

**Дослідження ступінчастої компенсації реактивної потужності на фізичному макеті 10**

*Бялонь А. к.т.н., Інститут Железнодорожного Транспорта Варшава*

**Генерирование радиотехнических помех на стыке токоприемник – контактный провод..... 11**

*Бялонь А. к.т.н. Інститут Железнодорожного Транспорта Варшава, Силезский Политехнический Інститут Катовице, Польща, Фурман Ю. інж. Інститут Железнодорожного Транспорта Варшава, Польща*

**Определение расстояния между варисторными ограничителями перенапряжений для контактной сети 3кв постоянного тока в лабораторных условиях..... 17**

*Ваганов О.І., Одеська залізниця*

**Ефективність впровадження стандартів енергетичного менеджменту ..... 23**

*Васильків Т.А., Перцевий В.О. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*

<b>Застосування теорії подоби для узагальнення експериментальних досліджень взаємодії трансзвукової струмینی повітря з тупиковим каналом .....</b>	<b>24</b>
<i>Вісін М. Г., Марікуца С.Л. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)</i>	
<b>Підвищення надійності роботи силової схеми електровоза 2ЕС6 .....</b>	<b>25</b>
<i>Габрінець В.О., Потапчук І.Ю., ДНУЗТ</i>	
<b>Маневровий локомотив на гібридній тязі.....</b>	<b>25</b>
<i>Габрінець В.А., д.т.н., проф., Титаренко І.В. (ДНУЖТ)</i>	
<b>Энергоэффективная система климатизации и вентиляции пассажирского вагона. ..</b>	<b>26</b>
<i>Гончаров Ю.П., Замаруев В.В., Маляренко Е.А., Стысло Б.А., Бобров М.А. (НТУ “ХПИ”), Панасенко Н.В., Божко В.В. (ХФ ДНДЦ УЗ)</i>	
<b>Использование полосы отчуждения железной дороги для генерации электроэнергии с помощью солнечных панелей .....</b>	<b>27</b>
<i>Горячкін В.М., Потапчук І.Ю., ДНУЗТ</i>	
<b>Методика розрахунку параметрів факелу паливної суміші в циліндрі дизельного двигуна при роботі на біопаливі.....</b>	<b>28</b>
<i>Данилов О.А., ДНУЗТ, Дніпропетровськ</i>	
<b>Визначення уставок мікропроцесорних захистів фідерів контактної мережі постійного струму.....</b>	<b>29</b>
<i>Данилов О.А., Чудопалова Т.О., ДНУЗТ, Дніпропетровськ</i>	
<b>Струморозподіл в тяговій мережі з відсмоктуючими трансформаторами при вимушених режимах. ....</b>	<b>30</b>
<i>Денисюк С.П., д.т.н., проф., Дерев'янка Д.Г., аспірант, Мирошниченко В.В. магістр ІЕЕ, НТУУ «КПІ»</i>	
<b>Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на рівень електромагнітної сумісності.....</b>	<b>31</b>
<i>Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ НТУУ «КПІ», Огієвич О.М.</i>	
<b>Організаційні механізми створення системи енергоменеджменту на підприємствах, організаціях згідно стандарту ISO 50001 .....</b>	<b>32</b>
<i>Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ НТУУ «КПІ»</i>	
<b>Організації мультиагентного керування електроенергетичними об'єктами та системами .....</b>	<b>33</b>
<i>Дерев'янка Д.Г., аспірант, Попик М.Ю, магістр, Національний технічний університет України «КПІ»</i>	
<b>Особливості побудови систем microgrid для електроживлення залізничного транспорту.....</b>	<b>34</b>
<i>В.А. Дьяков, Л.Ю. Жирова (ДНУЖТ)</i>	
<b>Некоторые особенности токосъема межрегиональных электропоездов.....</b>	<b>35</b>
<i>Дьяков В. А., Райкевич М. М., (ДНУЗТ)</i>	

<b>Исследование электрического влияния тяговой сети переменного тока на физической модели.....</b>	<b>36</b>
<i>Дьяков В. А., Кузнецов В. Г. (ДИИТ, г. Днепропетровск), Дьяков А. В. (ДТЭК Днепрооблэнерго.)</i>	
<b>Электромагнитная совместимость устройств тягового электроснабжения и СЦБ в зоне стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов.....</b>	<b>38</b>
<i>Дьяченко М.Д., Тесля Ю.А., Приазовский государственный технический университет</i>	
<b>Автоматическая система мониторинга состояния контактных соединений высоковольтного оборудования.....</b>	<b>40</b>
<i>Єліна М.С., ДНУЗТ</i>	
<b>Підвищення ефективності тягового електропостачання раціональною стратегією діагностики та ремонту.....</b>	<b>41</b>
<i>Жежеленко И.В., д.т.н., проф., Саенко Ю.Л., д.т.н., проф., Бараненко Т.К., к.т.н., доц., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»</i>	
<b>Приближенные методы оценки значений показателей качества электроэнергии .....</b>	<b>41</b>
<i>Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К. ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»</i>	
<b>Разработка методики оценки дополнительных потерь мощности в электрических сетях при известном уровне несинусоидальности .....</b>	<b>43</b>
<i>Забарило Д. А. (ДИИТ, г. Днепропетровск)</i>	
<b>Особенности расчета силового трансформатора повышенной частоты .....</b>	<b>44</b>
<i>Каламбет С.В., профессор кафедры «Фінанси та банківська справа», Півняк Ю.В., доцент кафедри «Фінанси та банківська справа»ДНУЗТ ім. В. Лазаряна</i>	
<b>Принципи фінансової безпеки підприємств транспорту.....</b>	<b>45</b>
<i>Ким Ен Дар (УИПА); Назаренко А.В., Карюк Д.Г. (Славэнергопром)</i>	
<b>Опыт производства полимерных изоляторов на основе жидкой кремнийорганической резины.....</b>	<b>46</b>
<i>Косарев Є.М., ДНУЗТ</i>	
<b>Підвищення енергоефективності живлення пристроїв автоблокування. ....</b>	<b>47</b>
<i>Кравець А.С., Перцевий В.О. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна</i>	
<b>Уточнення основних категорій потенціалу вітроенергетичних ресурсів для урбанізованої місцевості.....</b>	<b>48</b>
<i>Кравченко К.О., Просвірова О.В. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ</i>	
<b>Підвищення ефективності та довговічності гальмових колодок.....</b>	<b>49</b>
<i>Крупінський О.М. (Укрзалізниця)</i>	

<b>Концепція побудови верхнього рівня системи АСКОВ в умовах реформування залізничної галузі України.....</b>	<b>50</b>
<i>Кузнецов В.В., Николенко А.В., кафедра електротехники и электропривода Национальной металлургической академии</i>	
<b>Синтез динамической электромагнитной модели асинхронного двигателя, работающего в сетях с некачественной электроэнергией .....</b>	<b>51</b>
<i>Кузнецов В.Г., Антонов А.В.(ДНУЗТ)</i>	
<b>Результати енергетичного обстеження ДНУЗТ .....</b>	<b>52</b>
<i>Кузнецов В. Г., Калашников К. А. (ДНУЖТ)</i>	
<b>Применение методов оптимизации для решения задачи уменьшения потерь электроэнергии в тяговой сети за счет регулирования транспортного потока.....</b>	<b>54</b>
<i>Кузнецов В.Г., Коняева О.О., ДНУЗТ</i>	
<b>Енергетичний аудит ПрАТ «ЗЕРЗ».....</b>	<b>55</b>
<i>Кузнецов В.Г., Кирилюк Т.І., ДНУЗТ</i>	
<b>Розробка рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат .....</b>	<b>57</b>
<i>Курган М.Б., Лужицький О.Ф. (ДНУЗТ), Бабенко А.І. (Укрзалізниця)</i>	
<b>Енергозбереження в колійному господарстві за рахунок впровадження нових технологій ремонтних робіт .....</b>	<b>58</b>
<i>Курган М. Б., Байдак С.Ю., Хмелевська Н.П., ДНУЗТ</i>	
<b>Системний підхід до вирішення задачі енергозбереження в колійному господарстві</b>	<b>59</b>
<i>Маленик В. Г., Ляшук В. М., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна</i>	
<b>Дослідження можливості застосування МПЗ типу МРЗС-05 ТА «Діамант» на тягових підстанціях постійного струму 3,3 кВ. ....</b>	<b>60</b>
<i>Мандич В.Г., ДНУЗТ, м. Дніпропетровськ, Україна</i>	
<b>Ресурсозберігаючі методи експлуатації системи струмознімання з застосуванням діагностування на фізичній моделі «струмоприймач – контактний провід».....</b>	<b>61</b>
<i>Міронов Д.В., ДНУЗТ</i>	
<b>Дослідження енергоефективності електромагнітних процесів живлення пристроїв автоблокування. ....</b>	<b>61</b>
<i>Михайленко Ю. В., Марікуца С. Л., (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)</i>	
<b>Споживання електроенергії електропоїздами у швидкісному русі на залізницях України .....</b>	<b>62</b>
<i>Міщенко С.М., Укрзалізниця</i>	
<b>Підвищення енергоефективності при взаємодії систем зовнішнього та тягового електропостачання. ....</b>	<b>63</b>
<i>Находов В.Ф., Бориченко О.В., НТУУ «КПІ»</i>	

<b>Альтернативний підхід до нормування питомих витрат електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах .....</b>	<b>64</b>
<i>Находов В.Ф., к.т.н., доц.; Бориченко О.В., к.т.н., доц.; Бедерак Я.С., Іванько Д.О., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»</i>	
<b>Удосконалення методологічних засад побудови систем оперативного контролю ефективності енерговикористання.....</b>	<b>66</b>
<i>Остапчук О.В. к.т.н., доцент, Харсун К.В. Державний ВНЗ «НГУ»</i>	
<b>Обґрунтування вибору конструкції геліоколекторів для географічних умов України .....</b>	<b>66</b>
<i>Павличенко М.Е., Васильев И.Л., УрГУПС, Россия, Пастушенко М.С., ДИИТ, Украина</i>	
<b>Особенности использования гелиоэнергетики в климатических условиях Урала.....</b>	<b>67</b>
<i>Павличенко М.Е., Екатеринбург, Россия</i>	
<b>Проблемы проведения энергоаудита на предприятиях различных отраслей народного хозяйства.....</b>	<b>68</b>
<i>Пащенко А.В., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна</i>	
<b>Квантовая гидродинамика основа для разработки нетрадиционных источников энергии .....</b>	<b>69</b>
<i>Полянська Ю.М., ДНУЗТ</i>	
<b>Підходи до визначення втрат електроенергії в контактній мережі.....</b>	<b>70</b>
<i>Полях О.М., к.т.н., ДНУЗТ</i>	
<b>Діагностування тягових трансформаторів як інструмент ресурсозбереження .....</b>	<b>71</b>
<i>Рудевіч Н.В., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</i>	
<b>Моделирование переходных электромагнитных процессов в системах тягового электропостачання.....</b>	<b>72</b>
<i>Рябокін Б.А., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені ак. В.Лазаряна</i>	
<b>Підвищення ресурсу роботи швидкодіючих вимикачів постійного струму.....</b>	<b>73</b>
<i>Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К., Попов А.С., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»</i>	
<b>Вероятностные подходы при анализе дуговых перенапряжений в сетях с изолированной нейтралью .....</b>	<b>74</b>
<i>Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К. ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»</i>	
<b>Анализ влияния показателей качества электроэнергии на энергетические показатели преобразователей частоты регулируемого электропривода.....</b>	<b>75</b>
<i>Саенко Ю.Л., Нестерович В.В., Попов А.С. ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»</i>	



<b>Устройство защиты трансформаторов напряжения от феррорезонансных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью.....</b>	<b>76</b>
<i>Самолук Я. Я., ДНУЗТ</i>	
<b>Історія виникнення та еволюція лічильників витрат.....</b>	<b>77</b>
<i>Матусевич О.О., Сиченко В.Г., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна</i>	
<b>Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій .....</b>	<b>78</b>
<i>Титаренко І.В., ДПТ</i>	
<b>Експлуатація кондиціонерів пасажирських вагонів в теплонасосному режимі.....</b>	<b>80</b>
<i>Хворост М.В. д.т.н., проф., Божко В.В. к.т.н.</i>	
<b>Підвищення енергоефективності тягових підстанцій постійного струму залізниць України при організації швидкісного руху пасажирських потягів.....</b>	<b>81</b>
<i>Хохлов Ю.И., Дзюба М.А., Хлопова А.В., Южно-Уральский государственный университет, Сабиров Р.Н., Южно-Уральская железная дорога</i>	
<b>Энергоэффективные системы электроснабжения железнодорожного транспорта на базе двенадцатифазных преобразовательных агрегатов с общими для шестифазных блоков компенсирующими устройствами .....</b>	<b>82</b>
<i>Христьян Є.В., Арєстов О.П., Івін В.Ф., Михайлов В.С., Цап В.С.</i>	
<b>Нові заходи до зниження витрат енергії в енергетичному господарстві вагонного депо. ....</b>	<b>83</b>
<i>Шаптала М.В., ДНУЗТ</i>	
<b>Энергосбережение при производстве резинокордных изделий сложной конфигурации .....</b>	<b>83</b>