

УДК 656.259.21

В.О. Нічога, П.Б. Дуб

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України,
відділ відбору й обробки стохастичних сигналів

МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ РЕЙКОВОЇ ПАРИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЇЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

© Нічога В.О., Дуб П.Б., 2002

Наведено результати моделювання магнітного поля, утвореного низькочастотним струмом автоматичної локомотивної сигналізації, з урахуванням впливу провідностей ґрунту і локомотива. Розглянуто можливість використання цих результатів для технічної діагностики стану рейок.

Some results of modeling of magnetic fields, that are induced by the low-frequency automatic locomotive signaling, with taking into account influence of ground and locomotive are presented. A possibility of usage of these results for technical diagnostics of rail state is considered.

У статті розглянуті питання технічної діагностики технічного стану рейкової пари (РП). З цією метою запропоновано використати сигнали автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Можливість такої діагностики розглянута вперше і її застосування поки що нам невідоме.

Відомо [1], що АЛС призначена для здійснення безперервної передачі сигналів світлофорів у кабінку локомотива, проведення періодичної перевірки пильності машиніста, контролю швидкості і примусової зупинки поїзда у випадках втрати машиністом пильності, перевищення швидкості та виникнення аварійних ситуацій на колії. Передача сигналів здійснюється кодованими струмами низької частоти (25, 50 або 75 Гц), які проходять по колісній парі локомотива й рейках. У останніх він тече у протилежних напрямках, створюючи навколо них змінне магнітне поле. За допомогою індукційних давачів (ІД), розташованих на локомотиві поблизу передньої колісної пари, інформація надходить у кабінку машиніста.

Попередні дослідження [2,3] показують, що магнітне поле (МП) РП, зумовлене низькочастотними струмами АЛС, може бути використане для діагностики стану РП, зокрема стикових з'єднань.

Вирішення цього питання вимагає насамперед виведення відповідних формул для обчислення магнітного поля РП. Розрахункові залежності для магнітних компонент поля РП отримані нами в [2]. У цій роботі ми розглянемо тільки результати моделювання МП.

На рис. 1. подано умовне зображення рейкової пари для розрахунку МП, утвореного струмами АЛС (цю схему можна використовувати і для розрахунку поля від спеціально поданого тестового сигналу). Реальна рейка, звичайно, має значно складнішу будову, зокрема, при розрахунку поля в близьких до рейки точках треба було б враховувати особливості перерізу й наявність скін-ефекту. Однак, оскільки як при роботі АЛС, так і при діагностиці йдеться не про вимірювання абсолютних величин, а про оцінку змін поля, викликаних зміною струму в РП чи її стану, то надалі будемо вважати, що ми маємо справу з безмежно тонким провідником, що живиться струмом I , частота якого f , і який

розташований паралельно до поверхні ґрунту з провідністю σ на певній висоті h , яка у цьому випадку дорівнює висоті розташування над землею центру головки рейки. Вісь абсцис OX спрямуємо паралельно до провідника зі струмом по поверхні землі, вісь аплікату OZ - перпендикулярно цій поверхні з точки під проводом, а вісь ординат OY - перпендикулярно рейкам так, що утворюється ліва система координат. На рис. 1 $l = 1.524$ м - відстань між рейками; L - висота над поверхнею землі площини, яка умовно прийнята за межу між повітрям і сталевією масою локомотива, $M(y_0, z_0)$ - точка, в якій розраховується поле (при такому формулюванні задачі магнітне поле вважаємо незалежним від координати x); z_0 - висота точки розрахунку поля над поверхнею ґрунту; y_0 - відстань цієї точки від осі OX , що йде паралельно рейкам посередині між ними; d - відстань між точкою розрахунку і умовним проводом, що проходить у голівці рейки; σ_g (надалі - просто σ) - питома провідність ґрунту; σ_1 - питома провідність локомотива.

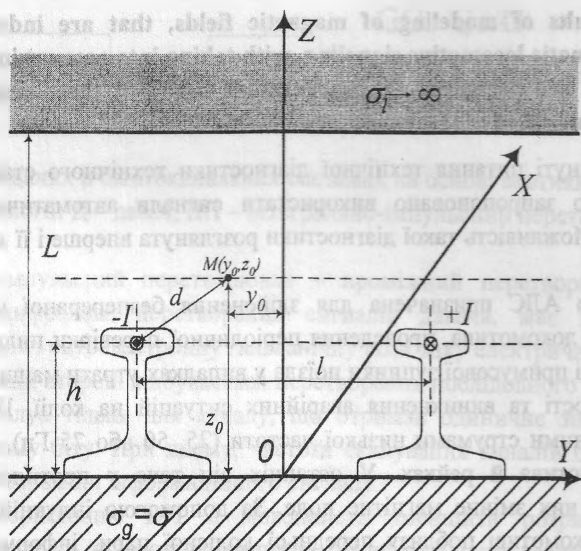


Рис. 1. Умовне зображення рейкової пари для розрахунку її електромагнітного поля

Отримані вирази для складових МП настільки складні, що для більшої наочності доцільно отримати спрощені вирази, у яких добре був би виявлений ступінь впливу провідного півпростору. Застосовуючи деякі апроксимації, враховуючи вплив високопровідної маси локомотива за допомогою методу дзеркальних зображень і додаючи поля від двох протилежно спрямованих струмів у рейках, можна отримати вирази для горизонтальної і вертикальної компонент магнітного поля РП [2]. Було також показано, що уявними складовими можна практично знехтувати в аналізованих діапазонах частот, провідностей, відстаней від рейок.

У загальному випадку можна записати формули для визначення вертикальної H_z і горизонтальної H_y складових МП рейок та модуля напруженості цього поля $|H|$ у вигляді таких функціоналів:

$$H_z = F_1(f, l, L, h, z_0, y_0, \sigma, \sigma_1, I), \quad H_y = F_2(f, l, L, h, z_0, y_0, \sigma, \sigma_1, I), \quad |H| = F_3(f, l, L, h, z_0, y_0, \sigma, \sigma_1, I).$$

На рис. 2-4 показані графіки залежностей вертикальної H_z і горизонтальної H_y

складових магнітного поля рейок та модуля напруженості цього поля $|H|$ від двох координат (y_0, z_0) точки, для якої здійснюється розрахунок. Для розрахунків прийнято, що $I=6\pi$ А, $h=0,15$ м, $l=1,524$ м, $L=0,8$ м, $f=50$ Гц, $\sigma=0,01$ См/м, відстань від ґрунту до точки розрахунку змінюється від 0,35 до 0,65 м, відстань від середини РП – від $-1,5$ до $+1,5$ м.

Ці графіки добре ілюструють особливості розподілу поля РП під локомотивом. Зокрема добре помітна різниця в зміні вертикальної та горизонтальної складових поля під впливом високопровідного корпусу локомотива. З віддаленням від рейок вертикальна складова зменшується значно слабше, ніж горизонтальна. Внесок останньої в модуль сумарної напруженості магнітного поля стає меншим від внеску вертикальної складової. Вплив провідності ґрунту полягає в зменшенні МП [2] (H_y зменшується сильніше). Під впливом локомотива горизонтальна складова суттєво знижується, а вертикальна складова дещо зростає і при наближенні до локомотива починає практично повністю визначати величину МП. Це пояснюється тим, що зростання H_z під впливом локомотива компенсує її зменшення, зумовлене присутністю ґрунту. Що ж до горизонтальної складової, то обидва фактори впливу діють на неї у напрямку зменшування. Останнє дозволяє стверджувати, що для відбору сигналу можна використовувати також і вертикальну складову поля, яка в багатьох точках простору під локомотивом може бути більшою від горизонтальної складової, яка традиційно використовується для такого відбору.

Пропускна здатність і безаварійність роботи залізничного транспорту в значною мірою визначається надійністю роботи рейкової колії. Для контролю стану рейок застосовуються акустичні (ультразвукові), магнітні й електромагнітні методи неруйнівного контролю [4]. АЛС досі не застосовували для діагностики стану РП. Однак можна припустити, що поле струмів АЛС можна було б використати з цією метою. Наприклад, у місцях стикових з'єднань поле повинно мати певні особливості, а його зміна можливо могла б характеризувати стан стику. З цього можна зробити висновок, що стан стикового з'єднання певним чином відбиватиметься на величині сигналу ІД при проходженні над ним поїзда. Оскільки переріз провідника в місці стику відрізнятиметься від перерізу основної рейки через наявність спеціальної шини, то розподіл струму в провіднику (а також його поле) буде іншим. Такі зміни можна дуже спрощено й наближено виразити зміною відстані d від точки спостереження до проводу або (та) зміною струму в рейці. З рис. 5, де по осі ординат відкладене відношення поля при зміні d до поля при $d_0=0,15$ м, видно, що навіть при величині зміни Δd , яка не перевищує 1 см, поле змінюється достатньо, щоб стикове з'єднання відчувалося прийнятною апаратурою [5].

Очевидно, що так само поле змінюватиметься і внаслідок появи дефектів у стикових з'єднаннях, наприклад, внаслідок ржавління контактних поверхонь. Певна зміна шляхів проходження струму впливатиме на поле рейки і на основі аналізу цих змін (або змін різниць полів над стиковими й безстиковими фрагментами рейок) можна буде робити висновки про стан стику. Слід особливо відзначити, що враховуючи роботу АЛС в умовах значних завод і те, що розвиток дефекту, наприклад, корозії, значною мірою виражатиметься певними статистичними особливостями, тобто дуже перспективним є застосування різних видів обробки випадкових процесів.

Дуже суттєвим для цієї проблеми є досягнення достатньої заводостійкості систем АЛС. Тепер завади подавляються в основному у фільтрах, що стоять на виході ІД, а також за допомогою віднімання завод із двох ІД, які розташовані над паралельними рейками, струми в яких протилежні за напрямком.

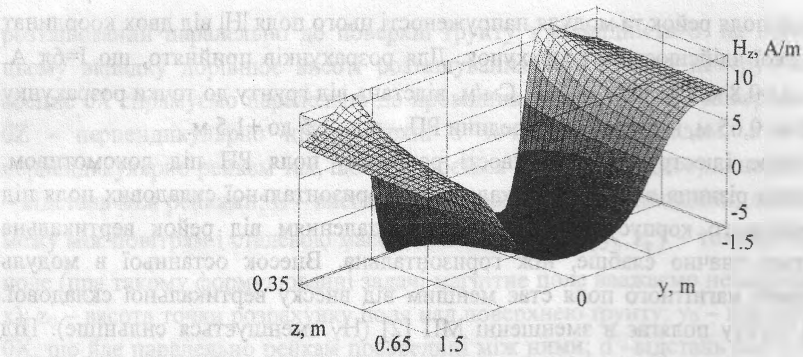


Рис. 2. Вертикальна складова магнітного поля рейкової пари

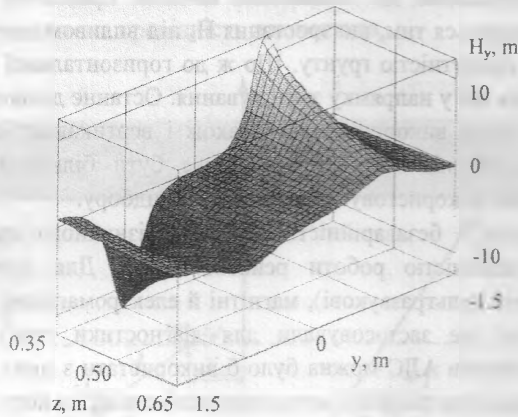


Рис. 3. Горизонтальна складова магнітного поля рейкової пари

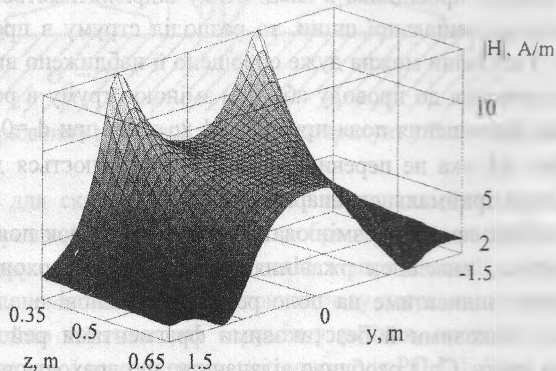


Рис. 4. Модуль напруженості магнітного поля рейкової пари

При цьому неградієнтні завади компенсуються, але ті, що мають градієнт, до певної міри проходять на пристрої АІС на локомотивах, наприклад, внаслідок асиметрії тягового струму, який проходить через локомотив, рейки й ґрунт. У зв'язку з цим варто звернути увагу на можливість відбору ІД не горизонтальної, а вертикальної складової МП. Як видно з рис. 2 вертикальна складова змінює свій знак приблизно в точці над рейкою. Тоді, розташувавши один ІД дещо правіше від рейки, а інший - трохи лівіше, можна відніманням

сигналів з них додати корисні сигнали й одночасно відняти завади, причому ступінь компенсації неградієнтних завод буде, очевидно, вищим через те, що завади менше відрізнятимуться одна від одної. При цьому значення корисного сигналу може виявитися більшим, ніж у традиційному методі, бо під впливом локомотива частка вертикальної складової МП зростає. Для електровоза така система менш ефективна, бо там присутня завада від тягового струму, яка описаним способом не подавляється. Але, встановивши таку ж пару ІД і над другою рейкою і віднімаючи сигнали двох пар давачів, можна досягти принаймні не меншої компенсації завади від тягового струму, ніж у традиційно застосовуваному способі.

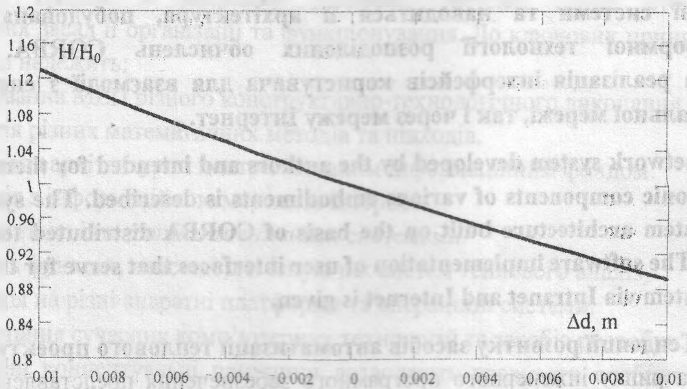


Рис. 5. Вплив зсуву умовного розташування рейки на її поле

Отже, можемо зробити деякі висновки. У результаті проведених досліджень побудована модель МП РП, яка враховує вплив провідності ґрунту та провідної маси локомотива на поле струмів АЛС і дозволяє оцінити вплив різних факторів на це поле. Показано, що за допомогою вимірювання МП можна виявляти зміни в розподілі поля, які зумовлені зміною стану стикового з'єднання рейок. Це дало змогу дійти висновку про перспективність використання систем АЛС для діагностики стану рейок за умови впровадження у ці системи вдосконалень, які дозволяли б накопичувати значну кількість статистичної інформації про поля РП та зменшувати рівень завод.

1. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка / Брылеев А.М., Поупе О., Дмитриев В.С. и др. М., 1981. 2. Нічога В., Дуб П. Магнітне поле поблизу рейкової пари від струмів автоматичної локомотивної сигналізації // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. - 2000. - № 387. - С. 441 - 449. 3. Нічога В., Дуб П., Електрорушійна сила індукційних давачів у полі струмів автоматичної локомотивної сигналізації // Відбір і обробка інформації. 2000. Вип. 14(90). С. 20-25. 4. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / Под ред. Гурвичи А.К. М., 1982. 5. Nichoga V., Dub P. On a Possibility of Electromagnetic Diagnostics of Rail Joints by Usage of Automatic Locomotive Signalling Currents // Proc. of Intern. Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training (TCSET'2000), February 14-19, 2000, Lviv-Slavsko, Ukraine.