

О. М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ТА ЗАСОБИ ЇХ НОРМАЛІЗАЦІЇ

Предметом представленої роботи є дослідження магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електротранспорту. Мета роботи – експериментальні дослідження фактичних рівнів магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електричного транспорту та розроблення заходів з їх нормалізації. Для проведення досліджень було обрано найбільш поширені у м. Києві зразки міського електричного транспорту – тролейбус, трамвай та метрополітен. Для проведення досліджень використовувався повірений вимірювач стаціонарного магнітного поля МТМ–01. Враховуючи зміну потужності електроприводу, вимірювання виконувалися за різних режимів руху транспортних засобів на робочих місцях водіїв. В результаті аналізу отриманих даних встановлено, що значення індукції стаціонарного магнітного поля на робочих місцях водіїв тролейбусів приблизно удвічі нижчі за значення геомагнітного поля і практично не залежать від режимів руху. У рухомому складі метрополітену значення індукції магнітного поля практично неперервне при різних режимах руху та перевищує значення природного поля. При цьому у режимах розгону та гальмування спостерігається значне зростання рівня поля з його інверсією. Найбільш складною є динаміка індукції магнітного поля у трамваї. На зупинці вона нижча за природне значення, під час руху з постійною швидкістю цей показник збільшується майже до природного значення, а під час розгону та гальмування відбувається різке зростання (до трьох значень природного). При цьому спостерігається непередбачувана інверсія переважного напрямку магнітного поля. Доведено, що значні коливання індукції магнітного поля потребують розроблення організаційно-технічних заходів для зниження амплітуди коливань поля. Показано, що застосування спеціального екрана з магнітом'якого листового матеріалу, дозволяє зменшити амплітуду коливань поля та наблизити його значення до рівня природного геомагнітного поля. Але при застосуванні такого екрана у реальних умовах дуже важливим є визначення найбільш раціонального його розташування.

**Ключові слова:** магнітне поле, індукція, електротранспорт, магнітний екран, магнітом'який матеріал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Як в Україні, так і в усьому світі питома вага електричного транспорту у міських пасажирських перевезеннях постійно зростає. Це пояснюється екологічністю таких транспортних засобів. Але поряд з цим вони можуть несприятливо впливати на їх експлуатаційників, зокрема водіїв трамваїв, тролейбусів, машиністів метрополітену через постійне перебування під впливом магнітних полів з боку контактної мережі та електроприводу, що на сьогоднішній день досліджено недостатньо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Не дивлячись на актуальність тематики, кількість досліджень та практично значущих розробок у галузі охорони праці персоналу міського електричного транспорту досить обмежена. Певним чином це пояснюється метрологічними труднощами. Так, у дослідженні [1] наведено виміряні рівні магнітного поля електротранспорту, але вони мають фрагментарний характер і стосуються задач фізичної екології. Практична розробка [2] також має на меті знизити вплив контактної мережі електротранспорту на міське середовище. Це ж стосується і розробки [3]. У роботі [4] показано, що не дивлячись на те, що міський транспорт використовує постійний електричний струм, постійність (стаціонарність) генерованого ним магнітного поля дуже умовна. Спектральний склад такого магнітного поля має суттєві варіації, тому для достовірності досліджень кількість вимірювань повинна бути значно збільшена. Певною мірою така ситуація обумовлена тим, що у чинних національних нормативах [5, 6] з монтажу, обслуговування та ремонту рухомого складу електротранс-

порту, контактної мережі та силового обладнання про електромагнітну безпеку працюючих навіть не згадується.

**Постановка завдання.** Мета роботи – експериментальні дослідження фактичних рівнів магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електричного транспорту та розроблення заходів з їх нормалізації.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень було обрано найбільш поширені у м. Києві зразки міського електричного транспорту – тролейбус, трамвай та метрополітен. Це ті транспортні засоби, які живляться постійним електричним струмом, тому для вимірювання використовувався повірений вимірювач стаціонарного магнітного поля МТМ–01. Враховуючи зміну потужності електроприводу, вимірювання виконувалися за різних режимів руху транспортних засобів на робочих місцях їх водіїв. Під час вимірювань обиралися прямолінійні ділянки руху. Орієнтація вимірювальної антени була постійною.

При проведенні досліджень слід враховувати, що постійне магнітне поле, генероване рухомим складом електричного транспорту, накладається на постійне геомагнітне поле, яке на широті м. Києва складає 49,6 мкТл. При цьому існує міжнародний норматив [7], згідно з яким у виробничих умовах забороняється зниження рівня геомагнітного поля більш ніж удвічі, тобто у нашому випадку – нижче 25 мкТл. Аналогічний національний норматив перебуває на стадії затвердження. При проведенні досліджень доцільно розглядати магнітне поле всередині транспортних засобів як варіації геомагнітного поля.

Вимірювання стаціонарного магнітного поля у тролейбусах під час стоянки та під час руху на різних режимах свідчить, що його індукція завжди перебуває у межах 20-30 мкТл. Відсутність суттєвих змін пояснюється тим, що тролейбус живиться від дводротової мережі і має відносно малу потужність. Зниження рівня геомагнітного поля відбувається через його часткове екранування металевим кузовом. Під час руху транспортного засобу спостерігається інверсія магнітного поля, тобто зміна його переважної спрямованості (вимірювальний прилад МТМ-01 показує рівні поля як за інтегральним значенням, так і за окремими трьома координатами). Результати вимірювання індукції магнітного поля у трамваї під час зупинки, розгону, руху з постійною швидкістю та гальмування наведено на рис. 1. З рисунку видно, що під час зупинки рівень магнітного поля мінімальний (17 мкТл), що нижче мінімально допустимого, під час розгону значення індукції поля різко зростає (у чотири рази більше природного), а під час руху з постійною швидкістю стабілізується на рівні 25-30 мкТл, під час гальмування знову зростає. Такі коливання є вкрай несприятливими щодо впливу на людей і потребують нормалізації. Вимірювання свідчать, що під час руху відбувається непередбачувана інверсія поля. На нашу думку, це можна пояснити наявністю розгалужених підземних інженерних мереж з феромагнітного матеріалу. Закономірності зміни магнітного поля на підземній ділянці метрополітену у режимах зупинки, розгону, руху з постійною швидкістю, гальмування наведено на рис. 2.

Слід відмітити два факти: індукція магнітного поля практично завжди вище природного магнітного поля, а зміни цього параметра у режимах розгону та гальмування відрізняється на різних ділянках лінії.

Значні коливання індукції магнітного поля потребують розроблення організаційно-технічних заходів принаймні для зниження амплітуди коливань поля. Теоретичні міркування та раніше виконані дослідження свідчать, що наявність біля джерела змінного магнітного поля (у даному випадку швидкоплинні коливання постійного магнітного поля) листового магнітомагнітного матеріалу згладжує коливання поля, тобто знижує його амплітуду. Це відбувається у

зоні, відгородженій цим листом від джерела поля або його переважної складової. Раніше проведені експерименти здійснювалися з використанням листової електротехнічної сталі з ефективною магнітною проникністю до 1000. При цьому спостерігалися зниження амплітуд коливання магнітного поля [8]. Слід очікувати, що матеріал з більшою магнітною проникністю буде знижувати амплітуди магнітного поля ще більше. Найбільш поширеними матеріалами з магнітними проникностями до 15000 є пермалой, але вони мають суттєвий недолік – втрата магнітних властивостей внаслідок деформацій, тому доцільність їх використання у рухомому складі електричного транспорту є сумнівною. Для проведення експериментів було обрано магнітомагнітний аморфний висококобальтовий сплав (вміст кобальту – 68 %) з мінімальною магнітною проникністю – 4000, максимальною – 44000. Через технологічні особливості виготовлення (надшвидке гатування) цей матеріал виробляється товщинами 20-50 мкм шириною 50 мм. Тому для виготовлення виробу великої площі стрічки аморфного сплаву з'єднувалися тканим плетінням. Для цього було використано експериментальну установку, схема якої наведена на рис. 3.

Випробування захисних властивостей екрана здійснювалося наступним чином. До джерела живлення постійного струму через реостат R підключався соленоїд L, який був джерелом магнітного поля. На першому етапі при зміні електричного струму

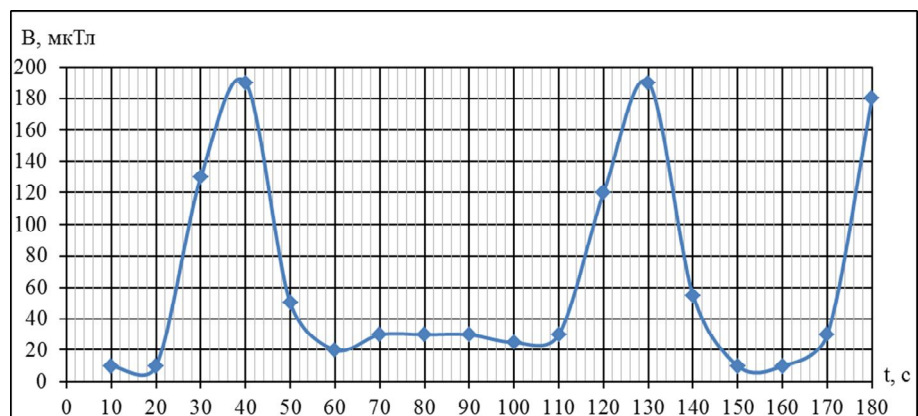


Рис. 1. Зміна індукції стаціонарного магнітного поля у трамваї за різних режимів руху

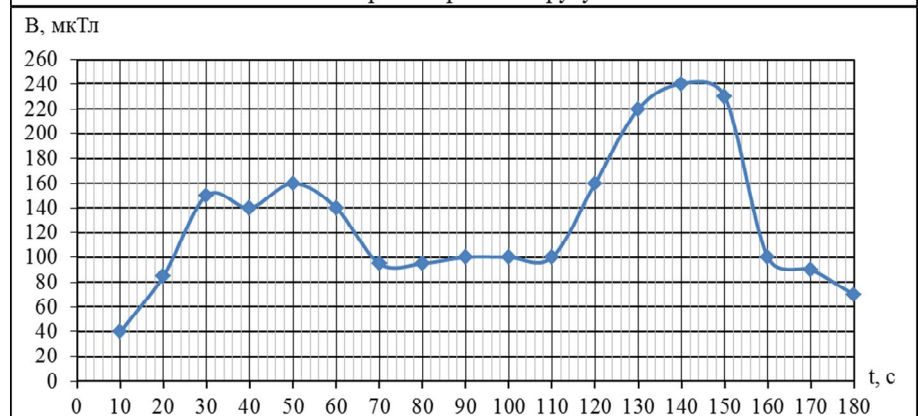


Рис. 2. Зміна індукції магнітного поля у вагоні метрополітену за різних режимів руху

змінювалося і реєструвалося вимірювальним приладом індукція магнітного поля. На другому етапі при аналогічних змінах магнітного поля соленоїда між ним та вимірювачем індукції магнітного поля розташовувався магнітний екран, а рівень магнітного поля реєструвався через такі є проміжки часу як і на попередньому етапі.

Результати змін індукції магнітного поля при використанні магнітного екрана наведено на рис. 4. Результати, наведені на рис. 4, свідчать, що застосування екрана з магнітом'якого матеріалу дозволяє знизити коливання значень магнітного поля. При цьому можливе також наближення значення індукції до рівня природного геомагнітного поля.

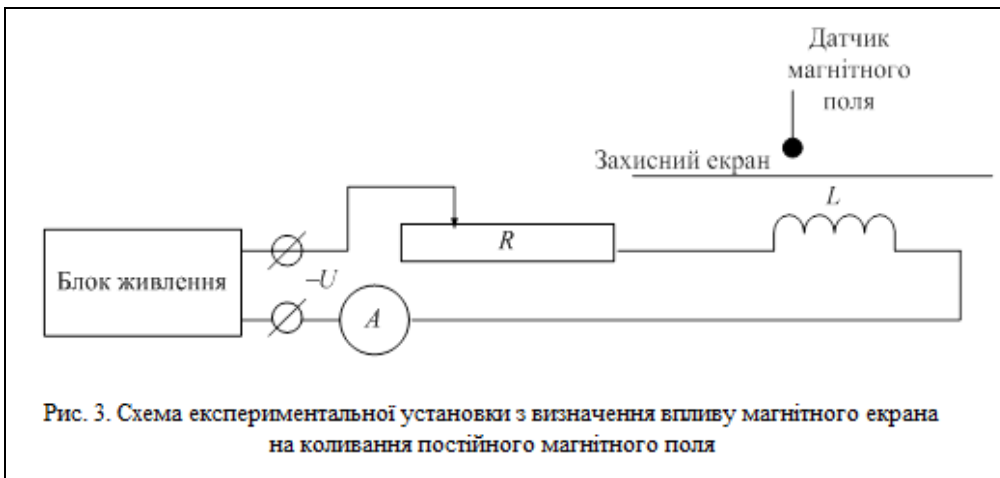


Рис. 3. Схема експериментальної установки з визначення впливу магнітного екрана на коливання постійного магнітного поля

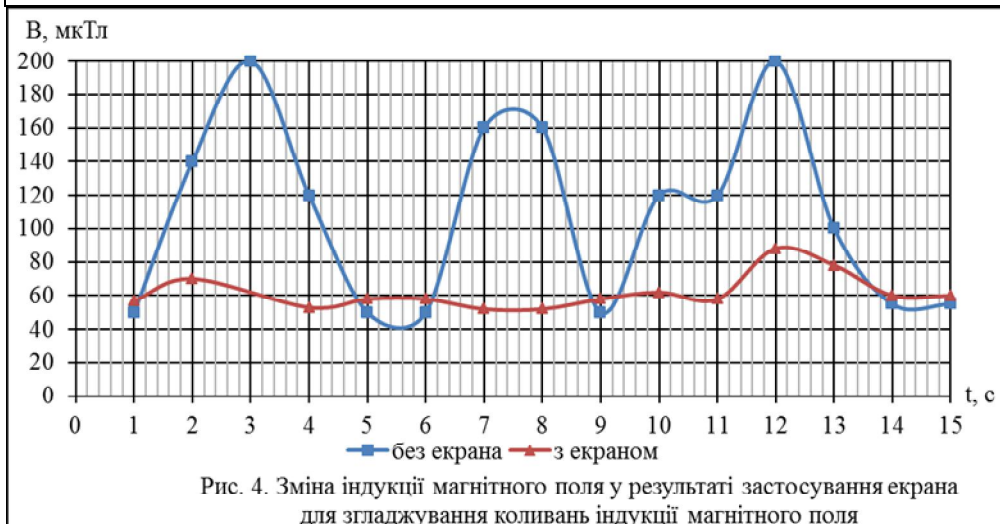


Рис. 4. Зміна індукції магнітного поля у результаті застосування екрана для згладжування коливань індукції магнітного поля

У реальних умовах застосування магнітного екрана дуже важливим є визначення найбільш раціонального його розташування.

Враховуючи пере важність горизонтальної складової геомагнітного поля, магнітний екран доцільно розташовувати вертикально, що знижує рівень сумарного магнітного поля у потрібному місці.

Але таке розміщення магнітного екрана не можна вважати однозначним. У різних транспортних засобах власне (техногенне) магнітне поле поширюється по різному.

Крім того, не вирішеними залишаються задачі пов'язані з інверсією магнітного поля, що потребує проведення подальших досліджень.

### Висновки

1. Значення індукції стаціонарного магнітного поля на робочих місцях водіїв тролейбусів приблизно удвічі нижчі за значення геомагнітного поля і практично не залежать від режимів руху.

2. У рухомому складі метрополітену значення індукції магнітного поля практично неперервне, при різних режимах руху та перевищує значення природного поля. При цьому у режимах розгону та гальмування спостерігається значне зростання рівня поля з його інверсією.

3. Найбільш складною є динаміка індукції магнітного поля у трамваї. На зупинці вона більш ніж удвічі нижча за природне значення, під час руху з постійною швидкістю цей показник складає дві третини природного значення, а під час розгону та гальмування відбувається різке зростання ( до трьох значень природного). При цьому спостерігається непередбачувана інверсія переважного напрямку магнітного поля.

4. Для згладжування коливань значення стаціонарного магнітного поля пропонується застосування спеціального екрана з магнітом'якого листового матеріалу. Це дозволяє не тільки зменшити амплітуду коливань поля, а й наблизити його значення до рівня природного геомагнітного поля.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глива В. А. Електричний транспорт як фактор електромагнітного забруднення міста / В. А. Глива, О. В. Панова, В. О. Кружилко // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 3. – С. 13–18.
2. Метод синтезу замкнених систем активного екранування магнітного поля повітряних ліній електропередачі / Б. І. Кузнецов, А. М. Туренко, Т. Б. Нікітіна та ін. // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 8–10.
3. Патент України 118352, МПК H05K 7/00, G12B 17/02 Пристрій екранування магнітного поля лінійного струмонесучого джерела / Запорожець О.І., Левченко Л.О., Ходаковський О.В., Кружилко В.О. // Заявл. 19.12.2016, опубл. 10.08.2017. Бюл. № 15.
4. Здановський В.Г. Загальні підходи до моделювання просторових розподілів електромагнітних полів електротехнічного обладнання / В. Г. Здановський, В. А. Глива, Л. О. Левченко // Проблеми охорони в Україні. – 2014. – Вип. 27. – С. 18 – 24.
5. СНиП 2.05.09-90 «Трамвайные и троллейбусные линии».
6. СОУ 60.2-33886519-0003:2006. Контактна мережа трамвайних та троллейбусних ліній. Система технічного обслуговування та ремонту. - К.: Державний комітет України з питань житлово – комунального господарства, 2006.
7. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 2015. – 5 p.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Глива,

Національний авіаційний університет, Київ

Надійшла (received) 07.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 05.06.2019

### Исследование магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электротранспорта и средства их нормализации

О. Н. Тихенко

Предметом представленной работы является исследование магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электротранспорта. Цель работы - экспериментальные исследования фактических уровней магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электрического транспорта и разработка мер по их нормализации. Для проведения исследований были выбраны наиболее распространенные в г. Киеве образцы городского электрического транспорта - троллейбус, трамвай и метрополитен. Для проведения исследований использовался поверенный измеритель стационарного магнитного поля МТМ-01. Учитывая изменение мощности электропривода, измерения выполнялись при различных режимах движения транспортных средств на рабочих местах водителей. В результате анализа полученных данных установлено, что значение индукции стационарного магнитного поля на рабочих местах водителей троллейбусов примерно вдвое ниже значения геомагнитного поля и практически не зависят от режимов движения. В подвижном составе метрополитена значение индукции магнитного поля практически непрерывное при различных режимах движения и превышает значение природного поля. При этом в режимах разгона и торможения наблюдается значительный рост уровня поля с его инверсией. Наиболее сложной является динамика индукции магнитного поля в трамвае. На остановке она ниже природного значения, при движении с постоянной скоростью этот показатель увеличивается почти до природного значения, а во время разгона и торможения происходит резкий рост (до трех значений природного). При этом наблюдается непредсказуемая инверсия преимущественного направления магнитного поля. Доказано, что значительные колебания индукции магнитного поля требуют разработки организационно-технических мер по снижению амплитуды колебаний поля. Показано, что применение специального экрана с магнитомягкого листового материала, позволяет уменьшить амплитуду колебаний поля и приблизить его значение до уровня природного геомагнитного поля. Но при применении такого экрана в реальных условиях очень важным является определение наиболее рационального его расположения.

**Ключевые слова:** магнитное поле, индукция, электротранспорт, магнитный экран, магнитомягкий материал.

### The study of magnetic fields at the working places of municipal transport vehicles and methods of their attenuation

O. Tykhenko

The subject of the presented work is the study of magnetic fields at the workplaces of rolling stock of municipal electric transport. The purpose of the work is the experimental study of the actual levels of magnetic fields at the workplaces of rolling stock of urban electric transport and the development of measures for their normalization. For research purposes, the most common samples of urban electric transport in Kyiv have been chosen - trolleybus, tram and underground. For carrying out of researches the assistant meter of a stationary magnetic field MTM-01 was used. Given the change in power of the electric drive, measurements were made at different modes of movement of vehicles at the workplace drivers. Based on the analysis of the obtained data it is determined that the value of the induction of the stationary magnetic field at the workplaces of trolley bus drivers is approximately twice lower than the values of the geomagnetic field and practically does not depend on the modes of motion. In the rolling stock of the subway, the value of the magnetic field induction is practically continuous in different motion modes and exceeds the value of the natural field. In this case, during acceleration and inhibition modes, there is a significant increase in the level of the field with its inversion. The most complicated pattern is the dynamics of magnetic field induction in the tram. At the stop it is lower than the natural value, when driving at constant speed the induction increases almost to the natural value, and during acceleration and inhibition there is a sharp increase (up to triple of the natural). At the same time there is an unpredictable inversion of the dominant magnetic field direction. It is proved that significant fluctuations in the magnetic field induction require the development of organizational and technical measures to reduce the amplitude of field fluctuations. It is shown that the use of a special screen made of magnetically soft sheet material, reduces the amplitude of field fluctuations and approximates its value to the level of the natural geomagnetic field. But the choice of the most rational location is crucial for efficient application of such screen under real conditions.

**Keywords:** magnetic field, induction, electric transport, magnetic screen, magnetically soft material.