

УДК 615.472.03

**МЕТОДИ І СПОСОБИ ПОВІРКИ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНОЇ
АПАРАТУРИ ЗА НОРМАТИВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ МАГНІТНОЇ
ІНДУКЦІЇ**

І.О. Пепеляєв, канд. техн. наук;

М.Ф. Терещенко, канд. техн. наук;*

І.М. Литкин, магістрант*

Шосткинський інститут Сумського державного університету;

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

Стаття присвячена дослідженню системи сучасних методів і способів повірки магнітної індукції магнітотерапевтичної апаратури. Також у даній статті розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності та удосконалення перевірочних процедур.

Ключові слова: *магнітна індукція, магнітофізіотерапевтична апаратура, магнітне поле, вимірювання, метрологія, повірка.*

Статья посвящена исследованию современных методов и способов поверки магнитной индукции магнитотерапевтической аппаратуры. Также разработаны рекомендации по повышению эффективности и усовершенствованию поверочных процедур.

Ключевые слова: *магнитная индукция, магнитофизиотерапевтическая аппаратура, магнитное поле, измерение, метрология, поверка.*

Використання магнетизму відіграє провідну роль у багатьох галузях науки й техніки. З ним пов'язують розвиток енергетики, транспорту, обчислювальної техніки, фізики плазми, термоядерного синтезу тощо. Магнітні розвідка, гідродинаміка, дефектоскопія, магнітні лінії й магнітний запис інформації, магнітна обробка води й поїзда на магнітній подушці - це не повний перелік перспективних областей промислового застосування магнітного поля.

Магнітні пристрої давно одержали визнання у медицині. Магнітні апарати застосовуються в різних напрямках медицини, але найбільше перспектив у використанні дані апарати мають у сфері здійснення різноманітних терапевтичних процедур. Магнітотерапевтичні апарати, подібно усім фізіотерапевтичним апаратам, звичайно призначені для місцевого (локального) впливу. Звичайно, можна собі уявити й загальний вплив магнітним полем, коли більша частина тіла пацієнта виявилася б, наприклад, у порожнині соленоїда або між полюсами електромагніта. Однак такі пристрої не реалізовані, очевидно, через значну масу й габарити, значні витрати проводів і споживання потужності, ряду інших технічних труднощів. Оскільки магнітне поле поширюється далеко за фізичні межі джерела, для загального впливу часто може бути досить того, щоб у порожнині соленоїда або між полюсами джерела магнітного поля була поміщена лише частина тіла пацієнта. Але одночасний вплив

на всі органи й тканини, хворі й здорові, небайдуже для пацієнта, може привести до погіршення його стану. Тому за допомогою промислової магнітотерапевтичної апаратури ефект лікування досягають звичайно впливом на патологічне вогнище або на ділянки, відповідальні за процеси, що відбуваються в патологічному вогнищі. Це забезпечує мінімальні протипоказання й відсутність шкідливих побічних ефектів. Однак і при локальному впливі варто мати на увазі, що магнітне поле не обмежується габаритами його джерела і впливає не тільки на вогнище ураження, але й на прилеглі органи й тканини. Так, наприклад, подаючи індуктор-соленоїд на стегно, необхідно звернути увагу на органи малого таза, а при лікуванні плеча в магнітному полі може виявитися серце. Із цього погляду особливо ймовірна поява негативних супутніх ефектів при зануренні нижніх кінцівок і особливо тулуба в порожнину соленоїда [1].

Таким чином, враховуючи важливість та перспективність використання магнітотерапевтичної апаратури в медицині, а також низький рівень вивченості у науковій літературі методів та способів перевірки магнітної індукції в магнітних пристроях, можна зробити висновок про актуальність та важливе значення тематики даної статті.

Необхідність дослідження методів перевірки магнітної індукції магнітотерапевтичної апаратури зумовлена тим фактом, що поля, застосовувані в магнітотерапії й магнітобіології, характеризуються, як правило, неоднорідністю: магнітна індукція і градієнт її змінюються в просторі, і поле не може бути визначено значеннями їх в одній точці, що істотно ускладнює його опис [2]. Неоднорідне поле взагалі неможливо охарактеризувати словами: лікар або біолог можуть судити про те, як воно співвідноситься з ділянкою ураження, тільки маючи перед очима картину цього поля. Ефективність дії магнітного поля залежить також від закону його зміни й частоти, режиму живлення, від габаритів, конфігурації, взаємного розташування джерела й пацієнта або біологічного об'єкта. Тому порівняння результатів лікування або біологічного впливу різних джерел істотно ускладнюється, і це все частіше відзначають багато авторів. До того ж дотепер у світі відсутні однакові вимоги до характеристики магнітного поля як лікувального фактора, не узаконена відповідна термінологія, що теж заважає зіставленню результатів, отриманих різними авторами. Виникають протиріччя й нерідко сумніва щодо імовірності досягнутих результатів, що стримує як їхню інтерпретацію, так і дослідження механізмів біологічного й лікувального впливу магнітних полів.

При здійсненні перевірки магнітної індукції магнітотерапевтичної апаратури через відсутність необхідних промислових приладів часто доводиться використовувати спеціальні методи вимірів. Інтенсивність змінного магнітного поля може контролюватися різними способами: ферозондним, що базується на ефекті Хола або на ефекті Фарадея, індукційним та іншими. Ферозондні перетворювачі, як правило, розраховані на вимірювання поля до 10 мТл, вони не придатні для вимірювання інтенсивності поля, відмінного від синусоїдального. Для перетворювача Хола потрібні спеціальні джерела живлення, їхні параметри істотно залежать від температури навколишнього середовища. Застосування методу Фарадея пов'язано зі складними апаратами і становить інтерес при контролі полів, інтенсивності яких набагато перевищують використовувані в медицині [3].

Індукційний метод може бути порівняно легко реалізований при вимірюванні інтенсивності змінного поля в широкому діапазоні значень магнітної індукції й частоти. Метод базується на використанні закону електромагнітної індукції: аналізується ЕРС, що з'являється у витках котушки при приміщенні її в змінне магнітне поле. Таким чином, вимірювальна котушка використовується як перетворювач магнітних

величин в електричні. Переваги індукційного методу обумовлені можливістю виготовити в лабораторних умовах вимірювальну котушку з необхідними габаритами й постійної циліндричної вимірної котушки (S_K), а також зручністю роботи, великою переважувальною здатністю, відсутністю впливу температури навколишнього середовища. Для здійснення індукційного методу не потрібні додаткові джерела живлення, а метрологічна повірка обмежується визначенням постійної S_K [4].

Вимірювальну котушку й виводи її, які при вимірюванні з'єднують із входом електронного вольтметра або інтегруючого ланцюга, звичайно монтують на плоскому щупі. Максимальне показання вольтметра виходить у тому випадку, коли вектор магнітної індукції паралельний її осі й відповідно перпендикулярний до площини щупа.

Якщо таку котушку помістити в змінне поле з індукцією B , то ЕРС буде пропорційна похідній dB/dt , і, отже, магнітна індукція B може бути визначена у результаті інтегрування $E^{**}(t)$.

$$E^{**}(t) = S_K \cdot dB/dt \quad (1)$$

Іноді, коли закон зміни відомий, як, наприклад, при синусоїдальному полі, магнітна індукція виводиться з-під знаку диференціала, і для її визначення досить виміряти $E^{**}(t)$.

Для вимірювання синусоїдальної ЕДС до кінців вимірювальної котушки приєднують будь-який електронний вольтметр. Оскільки шкала вольтметра звичайно градуйована в діючих значеннях, замінимо амплітудне значення ЕДС на діюче. Тоді, одержимо

$$B_a = E_{\delta}^* \cdot 10^4 / (4,44 \cdot f S_K) = 2250 \cdot E^{**} / (f S_K), \text{ мТл}, \quad (2)$$

а при частоті 50 Гц одержимо

$$B_a = 45 \cdot E^{**} / S_K, \text{ мТл}, \quad (3)$$

де S_K - постійна вимірювальної котушки, кв. см.; f - частота, Гц; E_{δ}^{**} - діюче значення ЕРС, мВ. Якщо ж шкала використовуваного вольтметра градуйована в амплітудних або середніх значеннях, що буває рідко, для розрахунку за формулою (3) їх переводять у діючі значення:

$$E_{\delta} = 0,707 \cdot e_a^{**} \text{ або } E^{**} = 1,11 \cdot E_{\delta} \quad (4)$$

З формули 2 випливає, що чутливість вимірювального пристрою, що визначається коефіцієнтом перетворення (відношення діючого значення ЕРС індукції до амплітудного значення вимірюваної магнітної індукції), може бути у загальному випадку представлена як $f S_K / 2250$ мВ/мТл, а при 50 Гц $-S_K / 45$ мВ/мТл. Очевидно, що при незмінних магнітній індукції B і частоті f зі збільшенням постійної S_K вимірювальної котушки збільшується чутливість пристрою і значення ЕРС. Отже, при вимірюванні слабких полів низької частоти необхідна котушка, стала якої досить велика. Так, якщо вважати, що найменший упевнений відлік електронного мілівольметра становить 20 мВ (відлік, при якому в міській лабораторії звичайно можна знехтувати глом), то з формул (2) і (3) випливає, що для вимірювання поля 10 мТл при частоті 50 Гц стала котушки повинна бути не меншою 90 кв. см, а при частоті 5 Гц - не менш 900 кв. см.

При вимірюванні індукційним методом несинусоїдального змінного магнітного поля ЕРС пов'язана з похідною магнітної індукції відповідно до формули (1), і для визначення магнітної індукції використовується інтегруючий RC-ланцюг з ємністю C на виході. Щоб інтегрування виконувалося з відносно малими перекручуваннями, активний опір R повинен набагато перевищувати реактивний опір $1/\omega C$, а для

імпульсного сигналу постійна часу RC повинна бути набагато більшою тривалості імпульсу T_n так, що необхідно, щоб

$$\text{coROI або ROT}_n. \quad (5)$$

При виконанні цих умов амплітудне значення магнітної індукції можна розрахувати за такою формулою:

$$B_n = RCU_a - 10VS_K, \quad (6)$$

де R - активний опір, кому; C - ємність, мкф; S_K - постійна котушки, кв. см; U_a - амплітудне значення вихідної напруги, мВ.

При правильному виборі RC-ланцюга на виході відновлюється справжня крива зміни магнітного поля, що на вимірювальній котушці була перекручена диференціюванням. Для контролю форми проінтегрованої ЕРС використовують електронний осцилограф, причому вертикальні пластини його з'єднують паралельно ємності C . Порівняння форми проінтегрованої кривої з формою кривої струму живлення індуктора зручно проводити на двопроменевому осцилографі.

Строге виконання умови (5) приводить до істотного зменшення вихідної напруги так, що вона може виявитися порівнянним із тлом, досить помітним уже на шкалі 10 мВ. У ряді випадків для збільшення напруги U_a використовують котушки з постійною S_K , що набагато перевищує 1000 кв. см.

Вимірювальна котушка - необхідний елемент при використанні індукційного методу контролю магнітної індукції магнітотерапевтичної апаратури, а також при роботі із промисловим веберметром. Вимірювальні котушки не випускаються, виготовлення й перевірка їх покладені на споживача.

Основними параметрами вимірювальної котушки є її стала S_K - сума площ усіх витків і габарити, у межах яких обмірюване магнітне поле усереднюється. Сталу циліндричної вимірювальної катушки з рядовою багатопшаровою обмоткою попередньо розраховують за формулою

$$S_K = j \times R^2 \times w (1 + 1^2/12), \text{ см}^2, \quad (7)$$

а потім після виготовлення визначають експериментально в полі з відомою інтенсивністю й перевіряють в установах Держстандарту.

При використанні індукційного методу вимірювання бажано мати котушки, постійні яких відрізняються одна від одної, що дозволяє проводити вимірювання в полях різних інтенсивностей і частот. Це зручно для роботи з різними мілівольтметрами й інтегруючими ланцюгами. Крім того, з огляду на необхідність періодичної перевірки наявності декількох катушок дозволяє завжди мати якусь із них у роботі.

При контролі інтенсивності джерел магнітного поля, використовуваних у медицині й біології, зовнішній діаметр котушки не повинен перевищувати 1-1,2 см². Якщо ж досліджується магнітне поле на поверхні джерела, вимірювальна котушка повинна бути, крім того, плоскою, а обмотка РЕ наближена до поверхні [5].

Важливим параметром для здійснення перевірки магнітотерапевтичної апаратури є градієнт магнітної індукції. Подібно магнітної індукції, градієнт її в неоднорідному магнітному полі від точки до точки змінює величину й напрямок, і кожне значення його повинне мати адресу. Однак на відміну від магнітної індукції, що може бути обмірювана за допомогою призначених для цього промислових приладів або інших доступних способів, визначення величини й напрямку градієнта не забезпечено промисловими приладами, а відомі методи контролю досить трудомісткі.

Крім того, розрахунок градієнта для електромагніту й постійного магніту практично не розроблений, а для соленоїда досить складний.

Іноді градієнт магнітної індукції помилково визначають шляхом розподілу різниці індукцій у двох довільно обраних точках на відстані між ними. Значення, отримане у результаті такого обчислення, може відрізнятися від справжнього в багато разів. У цих умовах використання картини поля у вигляді ліній рівної магнітної індукції - єдиний реальний спосіб експериментальної оцінки градієнта; він виявляється спрямованим у бік зростання магнітної індукції по прямій, що проходить через задану ділянку, й найкоротшим шляхом з'єднуючої найближчі до нього лінії рівної магнітної індукції, а для визначення величини градієнта різниця значень магнітної індукції, якими позначені ці лінії, ділять на найкоротшу відстань між ними. Чим частіше представлені лінії, тим точніше оцінюється градієнт.

Якісна оцінка градієнта може бути проведена візуально по густоті ліній рівної магнітної індукції: у місцях, де вони зближаються, градієнт зростає і, навпаки, збільшення відстані між лініями свідчить про зменшення градієнта. Так, наприклад, поблизу від торця індуктора лінії рівної магнітної індукції позначені через 10 мТл, але відстань між лініями 10 й 20 мТл значно перевищує відстань між лініями 20 й 30 мТл. Отже, градієнт зростає в міру наближення до поверхні індуктора. На осі індуктора його легко оцінити кількісно: ближче до торця він становить $(30-20)/6=1,7$ мТл/мм, а на наступній ділянці - $(20-10)/12= 0,85$ мТл/мм.

Зміна магнітної індукції і її градієнта від точки до точки і їхній векторний характер істотно ускладнюють характеристику зони дії джерела магнітного поля. У цих умовах вирішенням питання може здатися включення до комплексу магнітотерапевтичного пристрою вимірника магнітної індукції, яким у будь-який момент можна скористатися, хоча, звичайно, це пов'язано з помітним збільшенням вартості пристрою, а також з необхідністю періодичної перевірки вимірників в установах Держстандарту.

Але навіть за наявності промислових магнітовимірювальних приладів для магнітних вимірювань потрібні певна кваліфікація і значний час, тому що використовується метод послідовних наближень, і результат повинен бути "прив'язаний" до координатної сітки. Маніпуляції повинні полягати в такому: 1) необхідно зафіксувати точку в просторі і при наступному циклі вимірів не виходити з неї; 2) помістити в цю точку датчик (перетворювач), попередньо з'ясувавши місцезнаходження його в щупі; 3) не виходячи з точки, повертати щуп навколо поздовжньої й поперечної осей для того, щоб методом послідовних наближень одержати максимальне показання приладу. Тільки при дотриманні цих умов будуть правильно визначена величина магнітної індукції і її напрямок, перпендикулярний до площини щупа [6].

Трудомісткість таких вимірів очевидна, завдання й знаходження точки в просторі утруднені, для фіксації щупа бажано мати опору й т.д. Крім того, у неоднорідному полі не окрема точка, а їх сукупність характеризують поле, тому магнітна індукція повинна бути визначена в безлічі точок. Необхідність кваліфікованого підходу не дозволяє довірити описані виміри не тільки медичному оператору - медичній сестрі або лаборантові, але й недосвідченому технічному оператору. У той самий час дублювання цих вимірів у різних установах нераціонально. Вихід полягає в тому, щоб до всіх промислових джерел магнітного поля для терапії неодмінно додавалися результати проведених вимірів за допомогою перевірок у встановленому порядку приладів. Найбільш інформативна і зручна для застосування медичним персоналом двовимірною картина поля у вигляді ліній рівної магнітної індукції, що за необхідності може бути знята не в одній, а в декількох різних площинах.

Усе зазначене дозволяє в цей час вважати за доцільне включення вимірника магнітної індукції у пристрій для магнітотерапії.

Підсумовуючи, необхідно зазначити, що для підвищення ефективності здійснення перевірки магнітної індукції магнітотерапевтичної апаратури найбільш доцільно використовувати метод безпосереднього звірення. Таке твердження зумовлене тим, що на сучасному етапі не всі лікувально-профілактичні установи мають можливість використовувати складне обладнання для здійснення перевірки, а перевагою даного методу є простота й відсутність необхідності застосування складного устаткування.

На державному рівні необхідно розробити стандарт, який би регламентував порядок, методи, способи та періодичність здійснення перевірки магнітної індукції саме магнітотерапевтичного обладнання.

SUMMARY

METHODS AND METHODS OF CHECK OF MAGNETIC THERAPEUTIC EQUIPMENTS ON NORMATIVE PARAMETERS OF MAGNETIC INDUCTION

I.A.Pepelyaev, M.F.Tereshchenko, I.M.Lytkyn**

Shostka Institute of Sumy State University, Shostka

**National Technical University of Ukraine the «Kiev Polytechnic Institute» Kiev, Ukraine*

Research of basic problems in the field of the use of modern methods and methods of check of magnetic induction of magnetic therapeutic equipment, and also to development of new methods and facilities of check of magnetic therapeutic equipment. Also within the framework of this article the developed new standards of metrology equipment and method of attestation of magnetic therapeutic equipment.

Keywords: *magnetic induction, magnetic therapeutic equipment, magnetic field, measuring, metrology, check.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Старокожко Л.Е. Лечебно-профилактические технологии для сохранения и восстановления здоровья детей / Л.Е. Старокожко с соавт. – Ставрополь: Ставропольская государственная медицинская академия, 2007. – С. 199-207.
2. Кондрашов С.И. Метрологическое обеспечение и поверка средств электрических величин: учеб. пособие для студ. вузов / С.И. Кондрашов, В. К. Гусельников. - Х.: НТУ "ХПИ", 2007. - 287с.
3. Метрологія. Державна перевірна схема для засобів вимірювань магнітної індукції постійного магнітного поля в діапазоні від 0,05 до 2 Тл: ДСТУ 3390-96. – (Національний стандарт України).
4. Метрологія. Перевірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення: ДСТУ 2708-99. - На заміну ДСТУ 2708-94; [чинний від 01.07.2000]. - К.: Держстандарт України, 2000. – (Національний стандарт України).
5. Прибор для локальной магнитотерапии // Радио. – 1995. - №12. - С.58.
6. Поляков В.Т. Магнитное поле..., а вдруг оно влияет.../ В.Т. Поляков // Радио. – 1998. – № 1. – С. 8-10.

Надійшла до редакції 27 травня 2009 р.