

## Прилади і системи біомедичних технологій

УДК 577.3.2: 621.317

### МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ПАРАМЕТРИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна

*Аналізується первинний механізм взаємодії магнітних полів з біологічними об'єктами, який полягає в тому, що зовнішні постійні магнітні поля і змінні магнітні поля, а також електричні поля природного і штучного походження взаємодіють з електричними струмами і макроскопічними об'ємними зарядами, пов'язаними з метаболічними процесами, що протікають при функціонуванні біологічних об'єктів. Приведені математичні залежності впливу імпульсних магнітних полів квазіпрямокутної та квазітрикутної форми на біологічні тканини.*

**Ключові слова:** магнітне поле, біологічна тканина, математичне моделювання.

#### Вступ

Магнітотерапія - це напрям фізіотерапії, що використовує з лікувально-профілактичною метою дію постійних, змінних і імпульсних магнітних полів (МП) різних параметрів на біологічну тканину (БТ). Важливим для ефективного використання магнітотерапевтичних процедур є розгляд первинних механізмів взаємодії МП з біологічними об'єктами (БО).

Вивченню механізмів дії МП на БО присвячено цілу низку робіт [1 - 3]. Але, на жаль, до цього часу не має чіткої та однозначної математичної моделі впливу та дії МП на БО, тому завдання створення цієї моделі є актуальним.

Дія змінних магнітних полів (ЗмМП) реалізується наведенням індукованого електричного струму [1]. Це пов'язано з тим, що в тканинах завжди є достатня кількість вільних зарядів, які під впливом змінного електричного поля, що виникає при будь-якій зміні МП, приводяться в рух, утворюючи електричний струм. Магнітні властивості тканин характеризуються магнітною проникністю  $\mu$  і магнітною сприйнятливістю  $\chi$ . Водне середовище БТ характеризується електропровідністю  $\sigma$ . У ній виникають об'ємні заряди густиною  $\rho_{\text{оз}}$ . У даній статті будуть розглянуті та досліджені параметри квазіпрямокутного та квазітрикутного імпульсів МП, вплив сумарного потоку іонів через мембрану, рухомих зарядів і змінного електричного поля на параметри БТ та принципу Мітчелла на дифузійний потенціал та енергію макроскопічного об'ємного заряду в мітохондріях.

Важливим завданням при створенні перспективної багатофункціональної магнітотерапевтичної апаратури (МТА) є підвищення ефективності її роботи з врахуванням механізму дії ЗмМП на БО.

#### Постановка задачі

Фізична модель живого БО представляється у вигляді неоднорідної електродіагностичної системи, в якій протікають складні біохімічні реакції в рідких розчи-

нах за участю специфічних видів молекул. Взаємодія МП і БО відбувається на атомно-молекулярному, клітинному, тканинному, органно-системному рівнях.

Низка авторів (Холодов, Арістархов, Пірузян, Цибишев) вважають, що дія МП на живі організми може бути поясненою, якщо буде зрозумілим механізм дії поля на процеси, що відбуваються в клітинній мембрані [2, 3, 4]. Клітинній мембрані відводиться головна роль у взаємодії магнітного випромінювання з тканиною БО.

Дослідження впливу та дії МП на БО є основою для удосконалення методів лікування МП, для створення нової МТА, підвищення ефективності її роботи. Тому метою даної статті є математичне моделювання впливу ЗмМП на параметри БТ.

Будь-яка речовина в МП набуває магнітний момент. Намагнічена речовина створює своє власне МП. Тому МП в середовищі визначається зовнішнім МП і власним МП середовища. При цьому магнітна індукція складає [5]

$$\vec{B}_{\Sigma} = \vec{B}_{\Sigma}' + \vec{B}_{\Sigma}'' = \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} + \mu_0 \chi \vec{H}_{\Sigma} = \mu \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} = \mu_0 \vec{H}_{\Sigma} (1 + \chi), \quad (1)$$

де  $\mu_0$  - магнітна проникність вакууму,  $\vec{B}_{\Sigma}'$  - індукція зовнішнього МП,  $\vec{B}_{\Sigma}''$  - індукція МП середовища.

Звідки

$$\vec{H}_{\Sigma} = \vec{B}_{\Sigma} / \mu \mu_0 = \vec{B}_{\Sigma} / ((1 + \chi) \mu_0). \quad (2)$$

Під дією сумарної напруженості МП  $H_{\Sigma}$  і сумарної напруженості електричного поля  $E_{\Sigma}$  в об'ємі БТ діють сили МГД природи і електрогідродинамічної (ЕГД) природи [6]. Сумарна сила при цьому складає

$$\vec{F}_{\Sigma} = \mu_0 [ \vec{j}_{\Sigma} \times \vec{H}_{\Sigma} ] + \rho_{os} \vec{E}_{\Sigma} + \chi \vec{H}_{\Sigma} \text{ grad } H_{\Sigma}, \quad (3)$$

де  $\vec{j}_{\Sigma}$  - загальна густина струмів в одиниці об'єму БТ,  $\text{grad} H_{\Sigma}$  - градієнт напруженості МП.

У основі лікувальної дії МП лежить використання його біофізичних ефектів – вплив на «електронну хмару» атома і зсув електронів на вищі орбіти, тобто накопичення ними енергії (рис. 1). Це змінює рух заряджених частинок в змінних патологічним процесом біологічних середовищах, відновлює поляризацію молекул, структурує вільні молекули води.

### **Моделювання впливу змінних магнітних полів на параметри біологічних тканин**

Розглянемо дію сил МГД природи. Для цього в формулі (3) не враховуємо дію ЕГД сил  $\rho_{os} \vec{E}_{\Sigma}$ .

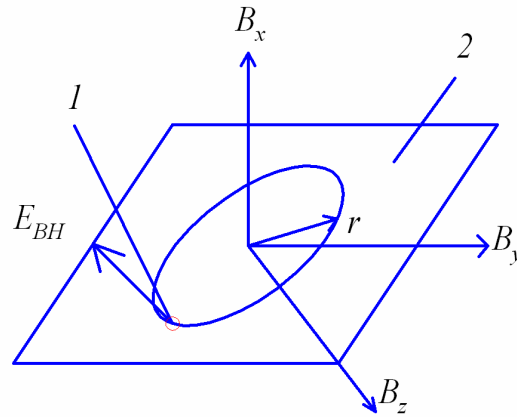


Рис.1. Дія ЗмМП на заряджену частку, яка знаходиться в тканині організму, де: 1 - заряджена частка, 2 - тканина організму,  $E_{BH}$  - напруженість електричного поля в тканині,  $B_x, B_y, B_z$  - проекції магнітної індукція по координатним осям,  $r$  - радіус.

Підставивши (2) в (3), отримуємо формулу для МГД сили

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{МГД}} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \mu_0 [ \vec{j}_{\Sigma} \times \vec{H}_{\Sigma} ] + \chi \vec{H}_{\Sigma} \text{grad} H_{\Sigma} = \\ &= (1/\mu) [ \vec{j}_{\Sigma} \times \vec{B}_{\Sigma} ] + (\chi/\mu\mu_0) \vec{B}_{\Sigma} \text{grad}(B_{\Sigma} / \mu\mu_0). \end{aligned} \quad (4)$$

Наявність  $\vec{E}_{\Sigma} \neq 0$  обумовлює генерацію в об'ємі БТ струмів екзогенної природи [6]. Густина струмів екзогенної природи обчислимо за формулою

$$\vec{j}_{\text{екз}} = \sigma \vec{E}_{\Sigma}. \quad (5)$$

При цьому

$$\vec{j}_{\Sigma} = \vec{j}_{\text{екз}} + \vec{j}_{\text{енд}}, \quad (6)$$

де  $\vec{j}_{\text{енд}}$  - густина струмів ендогенної природи.

Сила  $\vec{F}_1 = \mu_0 [ \vec{j}_{\Sigma} \times \vec{H}_{\Sigma} ]$  виникає під дією екзогенних і ендогенних електричних струмів в одиниці об'єму БТ. Сила  $\vec{F}_2 = \chi \vec{H}_{\Sigma} \text{grad} H_{\Sigma}$  відповідає виштовхуванню тканини з місць, де МП найінтенсивніше, у напрямі градієнта поля  $\text{grad} H_{\Sigma}$ .

Макроскопічний об'ємний заряд, що виникає в примембранних областях клітини, обумовлює наявність дифузійного потенціалу [6]

$$U_{\text{оз}} = (RT/F) \sum_{i=1}^i (D_{\kappa,i} - D_{\alpha,i}) / (Z_{\kappa,i} D_{\kappa,i} + Z_{\alpha,i} D_{\alpha,i}) \ln(C_{i,1}/C_{i,2}), \quad (7)$$

де  $R$  - стала Менделєєва - Клайперона,  $T$  - абсолютна температура,  $F$  - число Фарадея,  $D_{\alpha,i}, D_{\kappa,i}$  - коефіцієнти дифузії катіонів и аніонів,  $Z_{\alpha,i}, Z_{\kappa,i}$  - їх заряди,  $i$  - вид іонів,  $C_{i,1}, C_{i,2}$  - концентрації іонів на міжфазних межах і в об'ємі електроліту.

Енергія макроскопічного об'ємного заряду складає [6]

$$E_{03} \approx U_{03}/q_{03}, \quad (8)$$

де  $q_{03}$  - макроскопічний об'ємний заряд.

У основі механізму трансформації енергії в мітохондріях лежить принцип Мітчелла, згідно з яким трансмембранне перенесення електронів в дихальному ланцюзі супроводжується утворенням електрохімічного потенціалу іонів  $\eta_{H^+}$ , який складається з електричної компоненти  $\Delta\psi$  і осмотичної, представленою різницею концентрацій іонів  $H^+$  усередині і зовні мембрани [7]

$$\Delta\eta_{H^+} / F = \Delta\psi - \alpha\Delta p H, \quad (9)$$

де  $\Delta\psi$  - мембранний потенціал в вольтах,  $\alpha$  - коефіцієнт пропорційності, рівний 0,06. Звідки

$$F = (\Delta\eta_{H^+}) / (\Delta\psi - \alpha\Delta p H). \quad (10)$$

Підставивши (10) в (7), отримаємо формулу для обчислення дифузійного потенціалу макроскопічного об'ємного заряду в мітохондріях

$$U_{03} = (RT(\Delta\psi - \alpha\Delta p H) / \Delta\eta_{H^+}) \sum_{i=1}^i (D_{\kappa,i} - D_{\alpha,i}) / (Z_{\kappa,i} D_{\kappa,i} + Z_{\alpha,i} D_{\alpha,i}) \ln(C_{i,1} / C_{i,2}). \quad (11)$$

З врахуванням (11) з (8) отримуємо формулу для обчислення енергії макроскопічного об'ємного заряду в мітохондріях

$$E_{03} \approx U_{03} / q_{03} = ((RT(\Delta\psi - \alpha\Delta p H) / \Delta\eta_{H^+}) \sum_{i=1}^i (D_{\kappa,i} - D_{\alpha,i}) / (Z_{\kappa,i} D_{\kappa,i} + Z_{\alpha,i} D_{\alpha,i}) \ln(C_{i,1} / C_{i,2})) / q_{03}. \quad (12)$$

Розглянемо дію МП квазіпрямокутної та квазітрикутної форми. Обмежимося розглядом одинарного імпульсу МП. Для котушки індуктивності стала часу дорівнює  $\tau_B = L/R_a$ , де  $L$  - індуктивність,  $R_a$  - активний опір.

На рис. 2(а) приведена форма одинарного імпульсу МП квазіпрямокутної форми  $B = f(t)$ , де  $\tau_1$  - довжина переднього фронту імпульсу,  $\tau_2$  - довжина середньої частини імпульсу,  $\tau_3$  - довжина заднього фронту імпульсу з амплітудою  $B_0$ . На рис. 2(б) - квазітрикутної форми  $B = f(t)$ , де  $\tau_B$  - стала часу.

МП квазітрикутної форми на проміжку часу  $\Delta t_1$  змінюється за експоненціальною залежністю

$$B(t) = B_0(1 - e^{-\Delta t_1/\tau_B}). \quad (13)$$

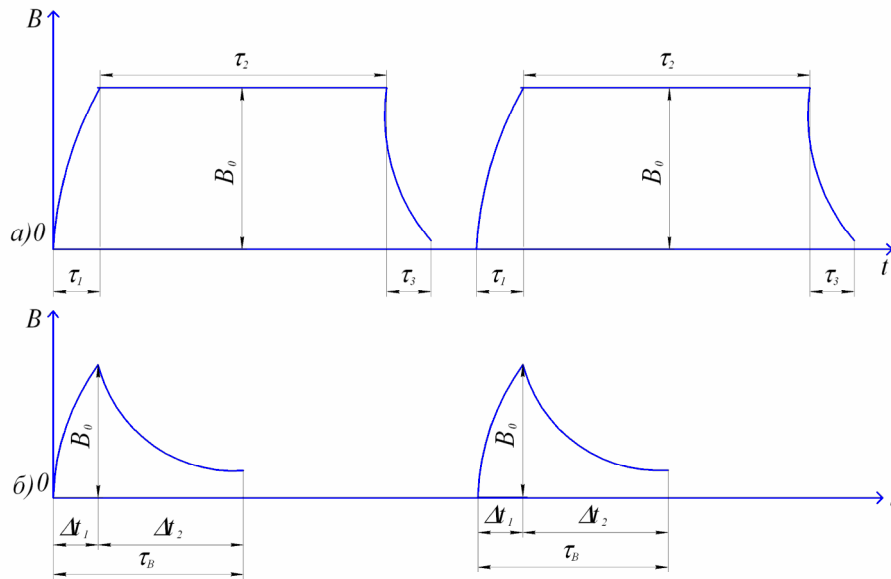


Рис.2. Квазіпрямокутний та квазітрикутний імпульси магнітної індукції.

Стала часу розраховується за формулою

$$\tau_B = \Delta t_1 / (\ln(B_0 / (B_0 - B(t)))). \quad (14)$$

МП квазітрикутної форми на проміжку часу  $\Delta t_2$  змінюється за експоненціальною залежністю

$$B(t) = B_0 e^{-\Delta t_2/\tau_B}. \quad (15)$$

Стала часу розраховується за формулою

$$\tau_B = \Delta t_2 / (\ln(B_0 / B(t))). \quad (16)$$

Для імпульсу МП квазітрикутної форми при  $0 \leq t \leq \Delta t_1$

$$B(t)|_0^{\Delta t_1} = B_0(1 - e^{-\Delta t_1/\tau_B}). \quad (17)$$

При  $t = \Delta t_1$

$$B(t) = B_0. \quad (18)$$

При  $\Delta t_1 \leq t \leq \Delta t_1 + \Delta t_2$

$$B(t) = B_0 e^{-\Delta t_2/\tau_B}. \quad (19)$$

Отже, одинарний імпульс МП квазітрикутної форми має вигляд

$$B(t) = B(t)|_0^{\Delta t_1} + B(t)|_{\Delta t_1}^{\Delta t_1 + \Delta t_2} = B_0(1 - e^{-\Delta t_1/\tau_B}) + B_0 e^{-\Delta t_2/\tau_B}. \quad (20)$$

Розглянемо рис. 2 (а). Для опису переднього фронту квазіпрямокутного імпульсу прийемо умову

$$B(t)|_0^{\tau_1} = B_0(1 - e^{-\tau_1/\tau_B}). \quad (21)$$

При  $t = \tau_1$

$$B(t) = B_0. \quad (22)$$

При  $\tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2$  вважаємо

$$B(t) \Big|_{\tau_1}^{\tau_1+\tau_2} = B_0. \quad (23)$$

При  $\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$   $B(t)$  можна представити у вигляді

$$B(t) \Big|_{\tau_1+\tau_2}^{\tau_1+\tau_2+\tau_3} = B_0 e^{-\tau_3/\tau_B}. \quad (24)$$

Отже, одинарний імпульс МП квазіпрямокутної форми запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} B(t) &= B(t) \Big|_0^{\tau_1} + B(t) \Big|_{\tau_1}^{\tau_1+\tau_2} + B(t) \Big|_{\tau_1+\tau_2}^{\tau_1+\tau_2+\tau_3} = \\ &= B_0(1 - e^{-\tau_1/\tau_B}) + B_0 + B_0 e^{-\tau_3/\tau_B}. \end{aligned} \quad (25)$$

Формули (20) та (25) отримані для опису квазітрикутного та квазіпрямокутного імпульсів магнітної індукції.

У момент  $\tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2$  дія МП у водному середовищі визначається силою

(4). При цьому  $\vec{j}_{\Sigma} = \vec{j}_{H \neq 0} \neq 0$ . Під дією цієї сили у водному середовищі виникають гідродинамічні явища, але специфіка дії імпульсних магнітних полів (ІМП) тут не проявляється.

Найбільш значні ефекти дії ІМП проявляються в час  $0 \leq t \leq \tau_1$  і  $\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ . Під дією МП в БТ в цьому інтервалі в об'ємі електроліту з електропровідністю  $\sigma$  виникають електричні струми густиною

$$j_{\tau_1} \approx (\sigma H / \tau_1) \varphi(x, y, z) \approx (\sigma B / \tau_1) / ((1 + \chi) \mu_0) \varphi(x, y, z), \quad (26)$$

$$j_{\tau_3} \approx (-\sigma H / \tau_3) \varphi(x, y, z) \approx (-\sigma B / \tau_3) / ((1 + \chi) \mu_0) \varphi(x, y, z), \quad (27)$$

де  $\varphi$  - хвильова функція.

Тоді в об'ємі водного середовища при  $0 \leq t \leq \tau_1$  виникають МГД сили. З врахуванням (3), (5), (6), (26), (27) дістанемо формулу для величини МГД сили

$$\begin{aligned} F_{\tau_1}(t) &= \mu_0 [j_{H \neq 0} \times \vec{H}(t)] + (\rho_{oz} H(t) / \tau_1) \varphi(x, y, z) + \chi H(t) \text{grad} H(t) = \\ &= (1/\mu) [j_{H \neq 0} \times \vec{B}(t)] + \rho_{oz} (B(t) / \tau_1) / ((1 + \chi) \mu_0) \varphi(x, y, z) + \\ &+ (\chi / \mu \mu_0) B(t) \text{grad} (B(t) / \mu \mu_0). \end{aligned} \quad (28)$$

У період  $0 \leq t \leq \tau_1$  і  $\tau_1 + \tau_2 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$  МГД сили за середньою величиною рівні і протилежні за знаком, тобто в об'ємі середовища виникають знакозмінні тиски з інтервалами  $\tau_2$ .

Сумарний потік  $\Phi$  іонів через мембрану еквівалентний електричному струму через мембрану, густина якого знаходимо за формулою [8]

$$\vec{j} = F \vec{\Phi}. \quad (29)$$

Підставивши (29) в (28) при  $\vec{j} = j_{H \neq 0}$ , дістанемо формулу для обчислення МГД сили з врахуванням сумарного потоку іонів через мембрану

$$F_{\tau_1}(t) = (F/\mu)[\vec{\Phi} \times \vec{B}(t)] + \rho_{03}(B(t)/\tau_1)/((1+\chi)\mu_0)\varphi(x, y, z) + (\chi/\mu\mu_0)B(t)grad(B(t)/\mu\mu_0). \quad (30)$$

Відповідно до закону Ампера-Максвелла, що встановлює зв'язок МП із зарядами, що рухаються, і змінним електричним полем, маємо

$$(1/\mu)rot(\vec{B}) = \vec{j} + \varepsilon(d\vec{E}/dt), \quad (31)$$

де  $\varepsilon$  - електрична постійна,  $rot(\vec{B})$  - ротор магнітної індукції. Звідки

$$\vec{j} = (1/\mu)rot(\vec{B}) - \varepsilon(d\vec{E}/dt). \quad (32)$$

Підставивши (32) в (28) при  $\vec{j} = \vec{j}_{H \neq 0}$ , отримаємо формулу для обчислення МГД сили з врахуванням рухомих зарядів і змінного електричного поля

$$F_{\tau_1}(t) = (1/\mu)[((1/\mu)rot(\vec{B}) - \varepsilon(d\vec{E}/dt)) \times \vec{B}(t)] + \rho_{03}(B(t)/\tau_1)/((1+\chi)\mu_0)\varphi(x, y, z) + (\chi/\mu\mu_0)B(t)grad(B(t)/\mu\mu_0). \quad (33)$$

Отже, в роботі розглянутий первинний механізм взаємодії МП з БО, який полягає в тому, що зовнішні постійні МП і ЗмМП, а також електричні поля природного і штучного походження взаємодіють з електричними струмами і макроскопічними об'ємними зарядами, пов'язаними з метаболічними процесами, що протікають при функціонуванні БО. Неможливо використовувати джерело МП при лікуванні людини, не маючи уявлення про те, як апарат буде впливати на життєдіяльність організму.

### Висновки

1. Механізм впливу та дії магнітних полів на біологічні тканини є однією з центральних задач теоретичних досліджень, спрямованих на розробку приладів магнітотерапії.
2. Приведені математичні залежності впливу імпульсних магнітних полів квазіпрямокутної і квазітрикутної форми на біологічні тканини.
3. Отримані розрахункові формули для магнітогідродинамічної сили, дифузійного потенціалу макроскопічного об'ємного заряду в мітохондріях, енергії макроскопічного об'ємного заряду в мітохондріях, сталої часу, досліджений фронт імпульсу магнітних полів квазіпрямокутної і квазітрикутної форми.
4. В подальших дослідженнях буде проаналізований вплив енергії магнітних полів на параметри біологічних тканин.

### Література

1. Холодов Ю.А. Магнитные поля биологических объектов / Ю.А. Холодов, А.Н. Козлов, А.М. Горбач. - М.: Наука, 1987. - 144 с.
2. Реакции биологических систем на магнитные поля. - М: Наука, 1978. - 216 с.
3. Влияние магнитных полей на биологические объекты. - М: Наука, 1971. - 203с.

4. Джаксон М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика / М.Б. Джаксон.- М.: Мир, 2009.- 551 с.
5. Тиманюк В.А. Живой организм и электромагнитные поля: Монография / В.А.Тиманюк, Э.А. Ромоданова, Е.Н.Животова – Харьков: НФаУ «Золотые страницы», 2004. - 260 с.
6. Гак Е.З. Магнитогидродинамические и электрогидродинамические эффекты в механизмах действия магнитных полей на биологические объекты / Е. З. Гак, Г. П. Комаров, М. З. Гак // Реакции биологических систем на магнитные поля. - М.: Наука, 1977. - С. 26 – 38.
7. Шишло М.А. Биоэнергетика и регулирующие системы организма при действии магнитных полей / М.А. Шишло, С. А. Кубли, В. П. Нужный // Реакции биологических систем на магнитные поля.- М.: Наука, 1977.- С. 81 – 102.
8. Федосеев В.Б. Математическое моделирование потенциала действия / В. Б. Федосеев, В. Н. Чернов, Е. Д. Бакуров // Механизмы лечебного действия магнитных полей. - М.: Наука, 1987. - С. 137 – 148.

### **References**

1. Holodov Yu.A. Magnetic fields of biological objects / Yu.A. Holodov, A. N. Kozlov, A. M. Horbach. - М.: Science, 1987.-144 p. [rus]
2. Reactions of biological systems on magnetic fields. – М: Science, 1978. – 216 p. [rus]
3. Influence of magnetic fields on biological objects. – М: Science, 1971. – 203p. [rus]
4. Djakson M.B. Molecular and cellular biophysics / M.B. Djakson. - М.: World, 2009.- 551 p. [rus]
5. Timaniyk V.A. Living organism and electromagnetic fields: Monograph / V. A. Timaniyk, E. A. Romodanova, E. N. Zhyvotnova – Kharkov: NPhaU «Gold pages», 2004. - 260 p. [rus]
6. Hak E.Z. Magnetichydrodynamics and electrichydrodynamics effects in the mechanisms of action of magnetic fields on biological objects / E. Z. Hak, H. P. Komarov, M. Z. Hak // Reactions of the biological systems on magnetic fields. - М.: Science, 1977. - P. 26 – 38. [rus]
7. Shyshlo M.A. Bioenergetics and regulative systems of organism of the action of magnetic fields / M. A. Shyshlo, S. A. Kubli, V. P. Nuzhnyy // Reactions of biological systems on magnetic fields. - М.: Science, 1977. - P. 81 – 102. [rus]
8. Fedoseev V.B. Mathematic simulation of action potential / V. B. Fedoseev, V. N. Chernov, E. D. Bakurov // Mechanisms of curative action of magnetic fields. – М.: Science, 1987. - P. 137 – 148. [rus]

**Н.Ф Терещенко, В.Ю. Рудик**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

Анализируется первичный механизм взаимодействия магнитных полей с биологическими объектами, который состоит в том, что внешние постоянные магнитные поля и переменные магнитные поля, а также электрические поля природного и искусственного происхождения взаимодействуют с электрическими токами и макроскопическими объемными зарядами, связанными с метаболическими процессами, которые протекают при функционировании биологических объектов. Приведены математические зависимости влияния импульсных магнитных полей квазипрямоугольной и квазитреугольной формы на биологические ткани.

**Ключевые слова:** магнитное поле, биологическая ткань, математическое моделирование.



**N.F. Tereshchenko, V. Yu. Rudik**

*National Technical University of Ukraine 'Kyiv Polytechnic Institute', Kiev, Ukraine*

**MODELING OF INFLUENCE OF THE VARIABLE MAGNETIC FIELDS ON PARAMETERS OF BIOLOGICAL TISSUES**

The primary mechanism of interaction of the magnetic fields is analysed with biological objects, that consists of that the external permanent magnetic fields and variable magnetic fields, and also the electric fields of natural and artificial origin interaction with the electric currents and macroscopic by volume charges, related to the metabolic processes that flow at functioning of biological objects. Mathematical dependences over of influence of the impulsive magnetic fields of kvazirectangular and kvazithree-cornered form are brought on biological tissues.

**Key words:** magnetic field, biological tissue, mathematical modeling.

*Надійшла до редакції  
28 лютого 2011 року*

УДК 681.785.5:616-07

**ГРАФОВА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ КЛІНІЧНОЇ МЕДИЦИНИ**

*Денисов М.О.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна*

*Розглянуто графову модель процесу створення новітніх оптико-електронних приладів та систем для клінічної медицини. Розкриті зміст та зв'язки між вершинами графової моделі, що дозволило виділити п'ять блоків задач – пошуковий, теоретичний, технічний, прикладний та промисловий, які характеризують рівні розробки та дозволяють визначити загальний обсяг та послідовність робіт для досягнення кінцевої мети. В якості прикладу запропонована до розгляду графова модель процесу створення для вітчизняної клінічної медицини “Системи флуоресцентної діагностики онкологічних захворювань”.*

**Ключові слова:** *графова модель, оптично-електронні системи, клінічна медицина, рівні розробки.*

**Вступ**

Одним з найбільш пріоритетних та перспективних напрямків розвитку сучасної клінічної медицини є впровадження в практику мінімально інвазивних технологій, які спрямовані на досягнення максимального діагностично-лікувального ефекту при мінімізації негативного впливу, що потерпає пацієнт.

В останні 20 - 25 років все більш широке впровадження в сучасних малоінвазивних технологіях клінічної медицини знаходять оптико-електронні прилади та системи (ОЕПС). Потреби сучасної малоінвазивної клінічної медицини (МІКМ) з віддаванням переваги доступу до ділянок внутрішніх органів пацієнта через природні порожнини або через малорозмірні отвори, виконані хірургічним шляхом, викликають необхідність широкого застосування незображуючих волоконно-оптичних систем (НВОС) з метою формування на поверхні біотканини або на певній її глибині густини потужності випромінювання, достатньої для досягнення діагностичного або лікувального ефекту.