

МОДЕЛЬ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

А. Г. Кушніренко, кандидат технічних наук, доцент

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

E-mail: nni.elektrik@gmail.com

В. А. Прядко, старший викладач

Поліський національний університет

E-mail: vapryadko@gmail.com

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

***Анотація.** Дослідження присвячені вивченню поведінки узагальнюючого вектору намагнічування в насінні сільськогосподарських культур при дії на нього поздовжнім постійним та поперечним змінним магнітними полями за методикою ядерного магнітного резонансу.*

На основі проведених теоретичних досліджень визначено величину середньої магнітної сприйнятливості одиниці об'єму насіння χ та величину вектору намагнічування M . Для системи мікрочасток клітини рослинного походження середня магнітна сприйнятливість одиниці об'єму насіння становить $\chi=2,1 \cdot 10^{-5}$, а вектор намагнічування $M=13,125$ мА/м при напруженості повздовжнього постійного магнітного поля $H=625$ А/м. При накладанні слабого поперечного змінного магнітного поля $H_1=50-60$ А/м із частотою $\omega_1=860$ Гц відбувається співпадіння частот коливання векторів намагнічування M із частотою поля H_1 , що і є умовою виникнення магнітного резонансу. Вектор повздовжнього намагнічування при переході із основного стану у збуджений (резонансний) описує траєкторію у вигляді спіралі на поверхні сфери.

Побудована математична модель для біологічної системи з урахуванням магнітного поля Землі. Встановлено, що для технології передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур, індуктор, який створює постійне магнітне поле, необхідно розташувати так, щоб вектор напруженості постійного магнітного поля індуктора співпадав із вектором напруженості магнітного поля Землі.

***Ключові слова:** біоенергетичний резонанс, передпосівна обробка насіння сільськогосподарських культур, постійне магнітне поле, змінне магнітне поле, повздовжня та поперечна релаксації*

Актуальність. Коли вирішуються завдання, пов'язані з розробкою електротехнологій передпосівного обробітку насіння сільськогосподарських культур, виникає проблема встановлення взаємозв'язку параметрів електромагнітного поля (ЕМП) з електрофізичними характеристиками біологічної системи (БС) рослинного походження. Коли має місце оптимальне їх співвідношення та співпадає частота ЕМП з частотою основних чинників БС відбувається резонансне поглинання енергії поля, що призводить до прискорення біохімічних та фізіологічних процесів цієї системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ядерний магнітний резонанс нині застосовується в спектроскопії для кількісного визначення вмісту певних атомів у речовині, в медицині для діагностування органів, в квантовій хімії для визначення констант тощо [1-3]. Для стимуляції насіння, росту та розвитку рослин застосування методу ядерного магнітного резонансу вивчено недостатньо.

Застосування методу ядерного магнітного резонансу в технології передпосівної обробки насіння дає можливість більш глибоко зрозуміти механізм впливу магнітного поля на насіння й визначити ефективні режими обробки.

Мета дослідження – теоретично дослідити процес біоенергетичного резонансу при передпосівній обробці насіння сільськогосподарських культур та розробити математичну модель.

Матеріали та методи дослідження. Проведені дослідження базувалися на феноменологічній теорії магнітного резонансу, розробленої Ф. Блохом. Вона ґрунтується на тому положенні, що для системи мікрочастин можна виділити деякі макроскопічні характеристики, які мають зміст середніх значень тих чи інших фізичних параметрів цієї системи.

Об'єктом проведених досліджень була молекула, клітина, орган (зародок насінини). Прийmemo деяке спрощення. Насінина має форму сфери з однорідними за об'ємом і постійними протягом певного часу електрофізичними параметрами. Насінину розглядаємо як фізичну точку, що припустимо для технології обробки протруєного та запакованого в мішкотару насіння без їх розпакування. Насінина має усереднене постійне значення магнітної сприйнятливості, тобто $\chi = const$.

Як макроскопічну характеристику системи середнього значення Φ . Блох запропонував використовувати вектор намагнічування M , який відображає суму магнітних моментів одиниці об'єму речовини

$$M = \sum_i \mu_i, \quad (1)$$

де μ_i – магнітний момент основних чинників системи.

Для макроскопічних тіл вектор намагнічування M займає в повздовжньому постійному магнітному полі H усталене урівноважене положення. Його величина в цьому випадку визначається так:

$$M = \chi H, \quad (2)$$

де χ – середня магнітна сприйнятливості одиниці об'єму речовини.

Якщо накласти поперечне змінне магнітне поле H_1 , коли співпадають частоти коливання БС та частоти поля H_1 , тобто виникне магнітний резонанс. Отже, коли $\omega_1 = \omega$, де ω_1 – частота змінного магнітного поля, H_1, ω – частота прецесії вектору намагнічування. Для цього випадку в загальному вигляді система рівнянь Блоха запишеться так:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM(t)}{dt} &= \gamma [M(t) \times H_1(t)] \\ \frac{dM_z(t)}{dt} &= -\frac{M_z(t) - M_0}{T_1} \\ \frac{dM_{\perp}(t)}{dt} &= \frac{M_{\perp}(t)}{T_2} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де γ – гіромагнітне відношення вектору намагнічування M до власного моменту БС; H_1 – поперечне змінне магнітне поле; M_z – повздовжня компонента вектору намагнічування; M_{\perp} – поперечна компонента вектору намагнічування; T_1 – час повздовжньої (спін - решіткової) релаксації; T_2 – час поперечної (або спін – спінової) релаксації.

Система диференціальних рівнянь (3) описує поведінку сумарного вектору намагнічування M та його складових M_z і M_{\perp} , які утворилися в результаті накладання повздовжнього постійного магнітного поля H та дії поперечного змінного магнітного поля H_1 . За допомогою зазначеної системи рівнянь математично описується процес магнітного резонансу цієї системи.

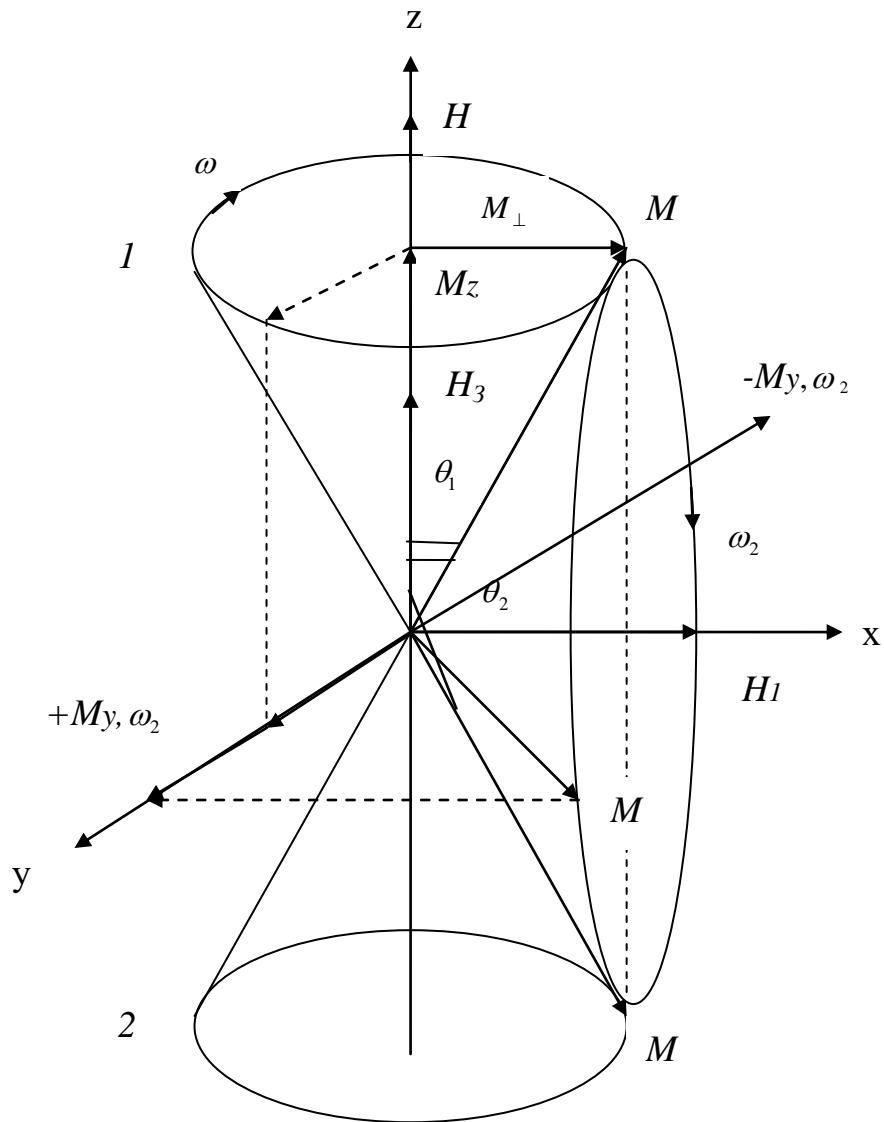


Рис. 1. Взаємодія вектору намагнічування M із повздовжнім постійним магнітним полем H та поперечним змінним магнітним полем H_1

Розглянемо перше рівняння системи диференціальних рівнянь (3). Якщо його розписати у вигляді рівнянь для окремих компонентів вектору M через визначники та додати відповідні доданки повздовжньої та поперечної релаксації, отримуємо систему диференціальних рівнянь у такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM_x(t)}{dt} &= \gamma[M_y(t) \cdot H_z(t) - M_z(t) \cdot H_y(t)] - \frac{M_x(t)}{T_2} \\ \frac{dM_y(t)}{dt} &= \gamma[M_z(t) \cdot H_x(t) - M_x(t) \cdot H_z(t)] - \frac{M_y(t)}{T_2} \\ \frac{dM_z(t)}{dt} &= \gamma[M_x(t) \cdot H_y(t) - M_y(t) \cdot H_x(t)] - \frac{M_z(t) - M_0}{T_1} \end{aligned} \right\} . \quad (4)$$

Слід зазначити, що рівняння (3) та (4) можна застосувати для проведення теоретичного експерименту з метою визначення складових цієї системи.

Результати досліджень та їх обговорення. Взаємодію вектору намагнічування M із повздовжнім постійним магнітним полем H та поперечним змінним магнітним полем H_1 можна проаналізувати, зобразивши векторною схемою, яка наведена на рис. 1.

Умовна схема переходу із основного 1 у збуджений 2 стан вектору намагнічування M окремо взятої насінини сільськогосподарської культури наведеною на рис. 2.

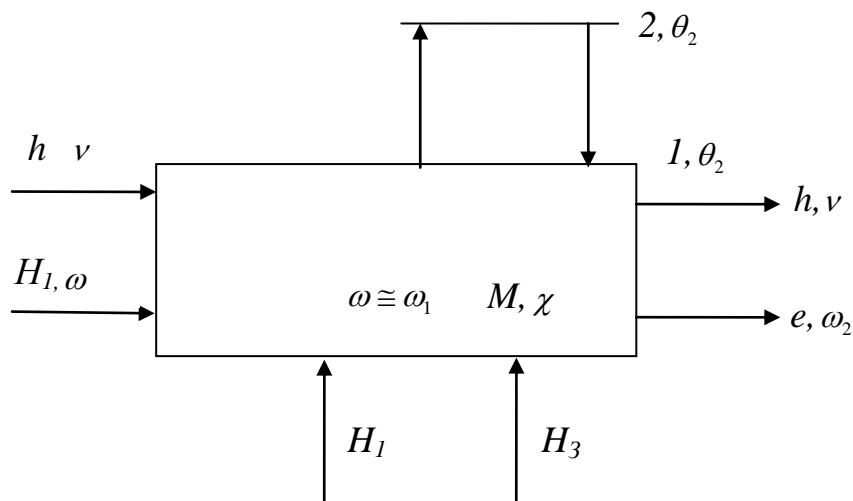


Рис. 2. Умовна схема переходу із основного стану 1 у збуджений (резонансний) стан 2 вектору намагнічування M окремо взятої насінини

Кількісний вміст та магнітні властивості елементів і молекул для клітини рослинного походження наведено у таблиці [1-3].

Таблиця

Вміст та магнітні властивості елементів і молекул для клітини рослинного походження

№ з. п.	Назва	Позначення	Вміст, %	χ	M , мА/м	Магнітні властивості
1	Кисень	O	65 - 75	$1,7 \cdot 10^{-5}$	10,625	П.
2	Вуглець	C	15 - 18	-		Н.
3	Водень	H	8 - 10	-		Н.
4	Азот	N	1,5 - 3	$1,3 \cdot 10^{-5}$	8,125	П.
5	Вода	H ₂ O	12	$- 0,9 \cdot 10^{-5}$	-5,625	Д.
6	Σ	-	-	$2,1 \cdot 10^{-5}$	13,125	П.

За виразом 2 та за даними таблиці 1 визначено для системи мікрочастинок клітини рослинного походження макроскопічну характеристику, вектор намагнічування M .

Для системи мікрочастинок клітини рослинного походження середня магнітна сприйнятливості одиниці об'єму насіння становить $\chi = 2,1 \cdot 10^{-5}$, а вектор намагнічування $M=13,125$ мА/м за напруженості повздовжнього постійного магнітного поля $H=625$ А/м. За накладання слабого поперечного змінного магнітного поля $H_1=50-60$ А/м із частотою $\omega_1=860$ Гц відбувається співпадіння частоти коливання вектору намагнічування M із частотою поля H_1 , що і є умовою виникнення магнітного резонансу.

Припустимо, що котушка індуктивності з власним значенням індуктивності L_0 і опором R_0 знаходиться в магнітному полі H і її обмоткою протікає електричний струм $I = I_0 \cos \omega t$ від підключеного генератора. Цей електричний струм I утворює змінне магнітне поле H_1 , яке перпендикулярне магнітному полю H . При магнітному резонансі в насінні виникатиме комплексна динамічна магнітна сприйнятливості:

$$\chi = \chi' - j\chi'' = \frac{[u_0 \cos f(t, t_0) - v_0 \sin f(t, t_0)] \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] + |\gamma| H_1 \int_{t_0}^t M_Z(t') \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] \sin f(t, t') dt'}{2H_1} +$$

$$\frac{[u_0 \sin f(t, t_0) + v_0 \cos f(t, t_0)] \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] - |\gamma| H_1 \int_{t_0}^t M_Z(t') \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] \cos f(t, t') dt'}{2H_1} = \frac{u}{2H_1} + j \frac{v}{2H_1}$$

(5)

Оскільки магнітна проникність насіння $\mu = 1 + \chi$, можна визначити індуктивність резонатора (вимірювальна комірка, резонатор):

$$L = \left[1 + \left(\frac{[u_0 \cos f(t, t_0) - v_0 \sin f(t, t_0)] \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] + |\gamma| H_1 \int_{t_0}^t M_Z(t') \exp\left[-\frac{(t-t')}{T_2}\right] \sin f(t, t') dt'}{2H_1} - \frac{[u_0 \sin f(t, t_0) + v_0 \cos f(t, t_0)] \exp\left[-\frac{(t-t_0)}{T_2}\right] - |\gamma| H_1 \int_{t_0}^t M_Z(t') \exp\left[-\frac{(t-t')}{T_2}\right] \cos f(t, t') dt'}{2H_1} \right) \right] L_0,$$

(6)

або

$$L = \mu L_0 = [1 + (\chi' - j\chi'')] L_0 = \left[1 + \left(\frac{u}{2H_1} - j \frac{v}{2H_1} \right) \right] L_0.$$

(7)

При проведенні досліду при $H = const$ інтенсивність сигналу резонансного поглинання енергії поля буде пропорційна лише полю H_1 .

У резонансному режимі траєкторію у вигляді спіралі на поверхні сфери буде описувати вектор повздовжнього намагнічування при переході із основного стану 1 у збуджений 2 (резонансний), що зображено на рис. 3.

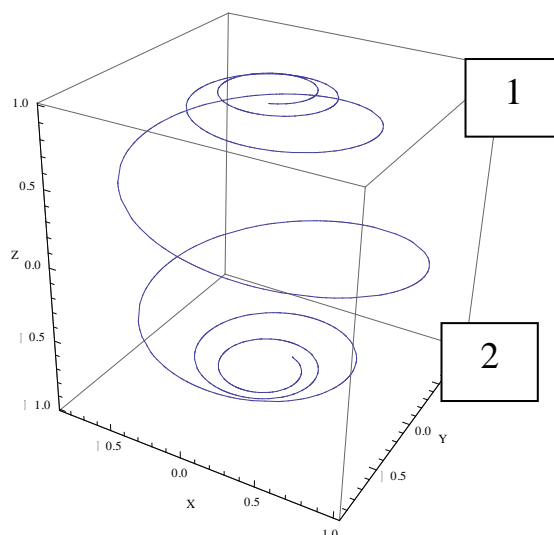


Рис. 3. Траєкторія, яку описує вектор повздовжнього намагнічування на поверхні сфери при переході із основного стану 1 у збуджений 2 (резонансний)

Висновки та перспективи. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Процес біоенергетичного резонансу при дослідженні насіння сільськогосподарських культур необхідно описувати із урахуванням напруженості магнітного поля Землі.

2. Індуктор, який створює постійне магнітне поле у досліджуваному зразку, необхідно розмістити в просторі так, щоб його вектор напруженості співпав з напрямом вектору напруженості магнітного поля Землі.

3. Резонатор виготовляється у вигляді котушки індуктивності, значення якої визначається за виразом 7.

Список використаних джерел

1. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир, 1984. 478 с.
2. Чижик В. И. Квантовая радиофизика. Магнитный резонанс и его приложения. С. - Петерб. : Изд-во С-Петербур. ун-та, 2009. 700 с.
3. Аминова Р. М. Квантовохимические методы вычисления констант ядерного магнитного экранирования. Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 6. С. 11.

References

1. Gunter, H. (1984). Introduction to NMR spectroscopy course. Moscow: Mir, 478.

2. Chizhik, V. I. (2009). Kvantovaya radiofizika. Magnitnyy rezonans i yego prilozheniya [Quantum radiophysics. Magnetic resonance and its applications.]. S. - Peterb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 700.

3. Aminova, R. M. (2002). Kvantovokhimicheskiye metody vychisleniya konstant yadernogo magnitnogo ekranirovaniya [Quantum-chemical methods for calculating nuclear magnetic shielding constants]. Khimiya i komp'yuternoye modelirovaniye. Butlerovskiye soobshcheniya, 6, 11.

МОДЕЛЬ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. Г. Кушниренко, В. А. Прядко, А. Ю. Синявский

Аннотация. *Исследования посвящены изучению поведения обобщающего вектора намагниченности в семенах сельскохозяйственных культур при воздействии на него продольным постоянным и поперечным переменным магнитными полями по методике ядерного магнитного резонанса.*

На основе проведенных теоретических исследований определена величина средней магнитной восприимчивости единицы объема семян χ и величина вектора намагниченности. Для системы микрочастиц клетки растительного происхождения средняя магнитная восприимчивость единицы объема семян составляет $\chi=2,1 \cdot 10^{-5}$, а намагниченность $M=13,125$ мА/м при напряженности продольного постоянного магнитного поля $H=625$ А/м. При наложении слабого поперечного переменного магнитного поля $H_1=50-60$ А/м с частотой $\omega_1=860$ Гц происходит совпадение частот колебания векторов намагниченности с частотой поля, что и является условием возникновения магнитного резонанса. Вектор продольной намагниченности при переходе с основного состояния в возбужденное (резонансное) описывает траекторию в виде спирали на поверхности сферы.

Построена математическая модель для биологической системы с учетом магнитного поля Земли. Установлено, что для технологии предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур индуктор, который создает постоянное магнитное поле, необходимо расположить таким образом, чтобы вектор напряженности постоянного магнитного поля индуктора совпал с вектором напряженности магнитного поля Земли.

Ключевые слова: *биоэнергетический резонанс, предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур, постоянное магнитное поле, переменное магнитное поле, продольная и поперечная релаксации*

THE BIOENERGETIC RESONANCE MODEL AT PRE-SOWING SEED CROPS TREATMENT

A. Kushnirenko, V. Pryadko, O. Sinyavsky

Abstract. *The research is devoted to the study of the behavior of the generalizing magnetization vector in the seeds of agricultural crops under the action of longitudinal constant and transverse alternating magnetic fields by the method of nuclear magnetic resonance.*

Based on the theoretical studies, the value of the average magnetic susceptibility per unit volume of seed χ and the value of the magnetization vector were determined. For the system of microparticles of cells of plant origin, the average magnetic susceptibility per unit volume of seed is $\chi = 2.1 \cdot 10^{-5}$, and the magnetization vector $M=13.125$ mA/m at a longitudinal constant magnetic field strength $H = 625$ A/m. When a weak transverse alternating magnetic field is superimposed on the frequency, the oscillation frequencies of the magnetization vectors M coincide with the field frequency, which is a condition for the occurrence of magnetic resonance. The longitudinal magnetization vector during the transition from the ground state to the excited state (resonant) describes a trajectory in the form of a spiral on the surface of the sphere.

A mathematical model for a biological system taking into account the Earth's magnetic field is built. It is established that for the technology of pre-sowing treatment of seeds of agricultural crops, the inductor, which creates a constant magnetic field, must be located so that the vector of the constant magnetic field of the inductor coincides with the vector of the Earth's magnetic field.

Keywords: *bioenergetic resonance, pre-sowing treatment of crop seeds, direct magnetic field, alternating magnetic field, longitudinal and transverse relaxation*