

О. М. Петровський¹, Т. Ю. Кузнецова¹, С. В. Лейко², Л. І. Азарова¹

¹ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

² Полтавський коледж харчових технологій, Полтава, Україна

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ТА ЇХ ЗМІНА ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ

Висвітлено результати експериментальних досліджень роботи біотехнічної системи опромінення насіння високо-частотним електромагнітним полем, безперервним синусоїдальним сигналом із різною вихідною потужністю для насіння пшениці. Визначений тепловий та осциляторний вплив електромагнітного поля на біологічну тканину. Запропонована фізико-математична модель структури біологічної тканини на рівні клітинних мембран, внутрішньо- і міжклітинного середовища з точки зору електричних властивостей. На основі будови клітин визначені електричні властивості біологічної тканини, з якої складається насіння рослин. Показана зміна складових комплексного опору в залежності від частоти електромагнітного випромінювання за допомогою якого проводилась стимуляція. Побудовано рівняння регресії і проведено оцінку їх адекватності за критерієм Фішера. Аналіз рівнянь регресії дозволив визначити оптимальне співвідношення незалежних факторів для досягнення максимального відсотка схожості насіння. Отримані результати дозволили конкретизувати критерії оцінювання опромінення насіння. Експериментально доведено, що еквівалентну електричну схему неможливо звести до простих випадків з'єднання опорів і ємностей, а саме насіння не можна вважати нейтральним діелектриком. Розроблена методика оцінки інтенсивності обмінних процесів залежно від електричного опору насіння.

Ключові слова: насіння, мембрана, опір, ємність, частота, еквівалентна схема, обмінний процес.

Вступ

Постановка проблеми. Проведення передпосівної обробки насіння різними чинниками впливу позитивно позначається на процесах його проростання, вегетації рослин, і як наслідок, покращується формування колосу, плодів, підвищується врожайність. Існує чимало технологій передпосівної обробки насінневого матеріалу, що включають хімічні, біологічні, фізичні фактори впливу на стан насіння з метою стимуляції фізіологічних процесів проростання і розвитку. Зміна біофізичних властивостей насіння, стимуляція обміну речовин, інтенсифікація проростання, збільшення поглинання води й добрив є вирішальними задачами передпосівної обробки. Результат дії високо-частотного електромагнітного поля на насіння залежить від електричних характеристик насіння. Крім того, вивчення зміни електричних характеристик після високо-частотної (ВЧ) обробки насіння дає певні відомості що до зміни обмінних процесів у насінні.

Мета досліджень. На основі електрофізичної моделі будови насіння визначити зміну його електричних властивостей під впливом електромагнітної стимуляції обмінних процесів, із позитивним впливом на фізіологічний стан – схожість та енергію росту рослин. Провести статистичний аналіз проведених експериментів з визначенням найбільш впливових факторів. Вдосконалення способу високо-частотної електромагнітної стимуляції з забезпеченням оптимальних змін електричних властивостей насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час сформувався два основних уявлення про вплив електромагнітних полів радіочастотного діапазону на матеріали і речовини. Для високо-частотної області (міліметровий діапазон) перевага віддається «інформаційному впливу» [1], а для низько-частотної області (сантиметровий, дециметровий, мет-

ровий діапазони) зміни пояснюють за рахунок теплового впливу.

Трансформація електромагнітної енергії у матеріалах і речовинах приводить до нагрівання, однак, наслідки цього ефекту можуть бути різними, починаючи з чисто фізичних змін у речовині (плавлення, прискорення розчинення), чи супроводжуватися хімічними реакціями (утворення складних ефірів, розщеплення крохмалів) [2]. У рослинах і біологічних об'єктах електромагнітні поля забезпечують оборотні і необоротні процеси, що використовуються для прискорення проростання насіння і збільшення врожайності рослин, знищення комах та їхніх личинок [1-4]. Неоднозначність одержуваних результатів після впливу електромагнітного поля (ЕМП) обумовлена багатфакторністю систем, а також змінними зовнішніми умовами, найбільш істотними з яких є: вихідна вологість і температура зразка, що опромінюється, відношення рівня потужності до маси, стан зразка (щільність і рухливість).

За особливостями впливу на біологічні об'єкти спектр електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону підрозділяють на 5 інтервалів [5].

1. Одиниці герц ... 10 кГц – хвильова зона знаходиться на відстанях, де інтенсивність електромагнітного поля втрачає свою біологічну значимість.

2. 10кГц ... 30 МГц – характерне нерівномірне поглинання електромагнітної енергії різними біо-структурами насіння. Поглинання енергії зростає пропорційно квадрату колової частоти ω^2 .

3. 30 МГц ... 10 ГГц – характерно виникнення виражених інтерференційних явищ, що супроводжується складним розподілом поглиненої енергії. Максимальне поглинання має місце у випадку виникнення резонансних явищ за певного співвідношення довжини хвилі і розмірів об'єкта [6-8]. Виникають області так званих «гарячих плям».

4. 10 ... 200 ГГц – характерне швидке загасання хвилі під пас проходження через тканини. Ефективна глибина проникнення близько 0,01...0,1 λ. Характерний ефект локального впливу. На частотах 49...60 ГГц спостерігаються біорезонансні явища.

5. 200 ... 3000 ГГц – характерно поглинання енергії самими поверхневими шарами.

В основі механізму дії ЕМП лежить первинна дія на заряджені частинки (іони, електрони, атоми, молекули), з яких складаються тканини біологічного об'єкту. Це дія обумовлена як тепловим, так і нетепловим осциляторним ефектом високочастотних коливань. Під впливом ЕМП за рахунок трансформації високочастотної енергії в теплову всередині тканин утворюється тепло, що залежить від електричних властивостей тканин, головним чином, від питомої електропровідності й діелектричної проникності, а також від частоти застосовуваного струму.

За рахунок наявності ємнісної складової, загальний опір біологічних тканин буде залежати від частоти, на якій здійснюється вимір опору. Зі збільшенням частоти загальний опір буде зменшуватися за рахунок зменшення ємнісної складової опору.

На високих частотах опір буде прямувати до нуля, а загальний опір перестане залежати від частоти і визначається паралельно з'єднаними опорами. Таке явище має місце на частотах 10^5 – 10^6 Гц. Найбільший опір біологічна тканина має для постійного струму і струму низької частоти, коли ємнісний опір набагато перевищує значення активного опору. Відношення опору на низькій частоті до опору на високій частоті називається поляризаційним коефіцієнтом. Величина поляризаційного коефіцієнту вказує на інтенсивність обмінних процесів. Чим більша інтенсивність обмінних процесів, тим більший поляризаційний коефіцієнт. Зазначимо, що у разі припинення обмінних процесів і руйнування клітинних мембран поляризаційний коефіцієнт зменшується. Самі мембрани стають провідниками, їхній опір стає малим. Тому загальний опір буде мати найменше значення і не буде залежати від частоти.

За частоти змінного струму близько 10^5 – 10^6 Гц ємнісна складова комплексного опору зменшується. Активний опір не залежить від частоти і лишається весь час сталим.

Коли клітини мембрани повністю зруйновані або їх функції остаточно порушені, ємнісна складова комплексного опору майже відсутня, то загальний опір перестане залежати від частоти і може вважатися чисто активним.

Теоретична частина

Розроблено спосіб опромінення насіння. Спосіб полягає в опроміненні насіння електромагнітним полем високої частоти, яке виникає між конденсаторними пластинами, з'єднаними з генератором електромагнітних коливань [6].

Використовується синусоїдальна безперервна форма сигналу, що задається генератором сигналів, забезпечується роботою ключа і блоку управління. Час опромінення обумовлений біофізичними властивостями опромінюваного насіння. Потужність зале-

жить від фізіологічних параметрів оброблювального матеріалу та умов навколишнього середовища.

Визначення електричних характеристик насипного насіння пшениці озимої проводили за допомогою вимірювача добротності (Q-метра) Е-4-4. Діапазон частот генератора цього приладу знаходиться в межах від 50кГц до 35МГц. Вимірювання проводилися на частотах 3, 6, 9, 12 МГц. Використовувався метод розстроювання ємності.

Вимірювалися характеристики необробленого насіння (контрольна партія) і насіння, оброблене електромагнітним полем ВЧ діапазону. Опромінення високочастотним (ВЧ) полем проводили на частоті 27,12МГц за допомогою апарату УВЧ-60 Мед ТеКо. Потужність опромінення становила 60Вт, а тривалість обробки 5хвилини.

Наявність у біологічних тканинах поляризованих мембран приводить до того, що крім активного опору біологічні тканини характеризуються ще й ємнісним опором. Взагалі опір біологічних тканин, внаслідок вищезгаданих причин, буде комплексним. Мембрану клітини можна представити в вигляді паралельно з'єднаних активного опору та ємності (реактивного ємнісного опору). Опори міжклітинного і внутрішньоклітинного середовищ матимуть переважно лише активну складову. Для зручності визначення лінійних розмірів клітин, що необхідно у врахуванні масштабного фактора, представлено клітини в вигляді прямокутних паралелепіпедів. Розміри паралелепіпедів такі ж, як і розміри клітин. Зміна форми клітини істотно не вплине на електричні параметри. Як відомо, на електричні параметри перш за все впливають фізичні властивості тіла (питомий опір, діелектрична проникність, лінійні розміри). Форма тіла має другорядне значення.

У моделі зроблено спрощення і розташовано клітини впорядковано в вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 1). У цій моделі клітини розглядаються як паралелепіпеди певних розмірів, оточені зовнішніми клітинними мембранами, які, в свою чергу, оточені міжклітинним середовищем.

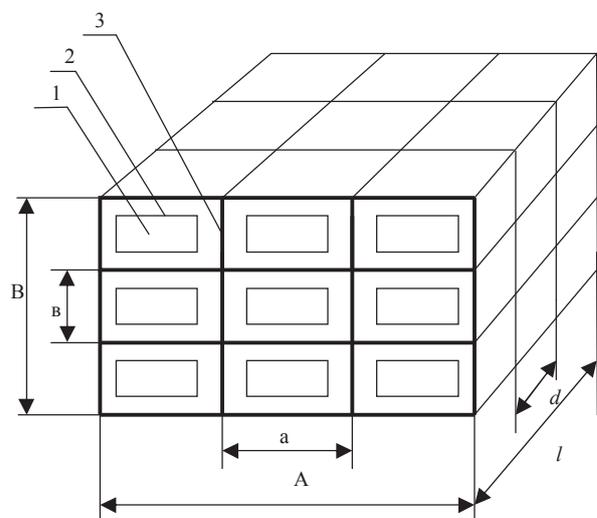


Рис. 1. Модель тіла, що має клітинну будову: 1 – вміст клітини; 2 – клітинна мембрана; 3 – міжклітинне середовище; a, b, d – лінійні розміри клітини; A, B, l – лінійні розміри насіння.

Еквівалентна електрична схема однієї комірки моделі (клітини) може бути представлена певним поєднанням опорів і ємностей (рис. 2).

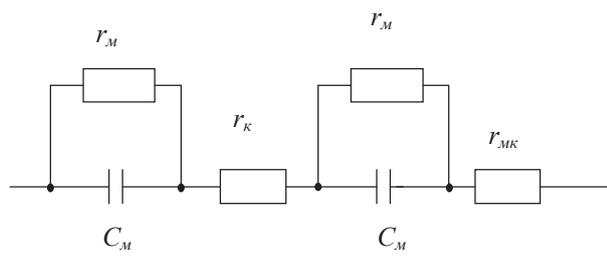


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема клітини: r_M – активний опір мембрани, Ом; C_M – ємність мембрани, Ф; r_K – опір вмісту клітини, Ом; r_{MK} – опір міжклітинного середовища, Ом

Оскільки можна вважати, що опір міжклітинного середовища набагато менший опору клітини $r_{MK} \ll r_K$, то в подальших розрахунках не враховано r_{MK} . Комплексний опір мембрани \dot{Z}_1 , паралельно з'єднаних r_M і C_M , буде визначатися як [2]:

$$\frac{1}{\dot{Z}_1} = \frac{1}{r_M} + \frac{1}{X_C} = \frac{1}{r_M} + j\omega C_M. \quad (1)$$

Після перетворень з урахуванням масштабного фактора одержано:

$$\dot{Z}_{заг} = \frac{\gamma l R_{КОМ} \rho_{МК}^2 + \gamma \rho_{МК} R_{КОМ}^2 - \gamma X_{КОМ}^2}{S (\rho_{МК} + \gamma R_{КОМ})^2 + (\gamma X_{КОМ})^2} - \frac{j(\rho_{МК} X_{КОМ} + \gamma R_{КОМ} X_{КОМ} \rho_{МК} + \rho_{МК} \gamma R_{КОМ} X_{КОМ})}{(\rho_{МК} + \gamma R_{КОМ})^2 + (\gamma X_{КОМ})^2}, \quad (2)$$

де
$$R_{КОМ} = \frac{r_K + 2r_M + r_K r_M^2 \omega^2 C_M^2}{1 + \omega^2 C_M^2 r_M^2}, \quad (3)$$

$$X_{КОМ} = \omega C_M \frac{2r_M^2}{1 + \omega^2 C_M^2 r_M^2}. \quad (4)$$

Аналізуючи вираз (2), можна побачити, що простий вигляд він має тільки у деяких окремих випадках, коли здійснюється висока поляризація клітинних мембран (значна інтенсивність обміну речовин), то $\omega^2 C_M^2 r_M^2 \gg 1$. Якщо, крім того, можна знехтувати провідністю міжклітинного середовища, тобто $1/R \rightarrow 0$, і відповідно $\rho_{МК}^2 \rightarrow \infty$, то поділивши чисельник і знаменник виразу (2) на $\rho_{МК}^2$ і враховуючи, що за зробленими припущеннями $\rho_{МК} \rightarrow \infty$, одержимо:

$$\dot{Z}_{заг} = \frac{\gamma l}{S} (R_{КОМ} - jX_{КОМ}). \quad (5)$$

Тобто, за зробленими припущеннями, опір насіння складається з послідовно з'єднаних активного опору $\gamma l R_{КОМ} / S$ та ємнісного опору $\gamma l X_{КОМ} / S$.

Якщо опір комірки моделі (клітини) переважно реактивний (ємнісний), але провідністю міжклітинного середовища нехтувати не можна, то

$$\frac{1}{\dot{Z}_{заг}} = \frac{S}{\gamma l} \left(\frac{\gamma}{\rho_{МК}} + j \frac{1}{X_{КОМ}} \right). \quad (6)$$

У цьому випадку ми маємо паралельне з'єднання активного опору міжклітинного середовища та ємнісного опору мембрани.

За достатньо низьких і достатньо високих частотах опір тканини буде переважно активним, але його абсолютне значення за низьких частот суттєво залежить від ступеня поляризації клітинних мембран.

Експериментальні дослідження

Результат дії височастотного електромагнітного поля на насіння залежить від параметрів поля за допомогою якого виконується обробка і від електричних характеристик насіння. Крім того, вивчення зміни електричних характеристик після ВЧ обробки насіння дає певні відомості щодо зміни обмінних процесів у насінні. Для планування експерименту з опромінювання насіння на установці ВЧ і статистичного аналізу отриманих результатів доцільно використовувати тривірневий ортогональний центральний композиційний план (ОЦКП). Перевагою даного плану є можливість отримання максимально наближеної математичної моделі за мінімальної кількості дослідів. На основі отриманих експериментальних даних складаємо рівняння регресії. Рівняння регресії складаються для кожної з залежних змінних:

$$Y_1 = 62.89 + 0.197X_1 - 0.00237X_1^2 + 6.165X_2 - 0.345X_2^2 - 0.0135X_3 + 0.00003X_3^2 + 0.00533X_1X_2 + 0.00028X_1X_3 - 0.001X_2X_3, \quad (7)$$

$$Y_2 = 64.84 - 0.028X_1 + 0.001X_1^2 + 7.176X_2 - 0.41X_2^2 - 0.075X_3 + 0.00068X_3^2 + 0.00155X_1X_2, \quad (8)$$

$$Y_3 = 64.391 + 0.121X_1 - 0.0012X_1^2 + 5.384X_2 - 0.295X_2^2 + 0.037X_3 - 0.0005X_3^2 + 0.0024X_1X_2 + 0.0001X_1X_3 + 0.0012X_2X_3, \quad (9)$$

$$Y_4 = 64.93 + 0.342X_1 - 0.004X_1^2 + 5.81X_2 - 0.344X_2^2 - 0.051X_3 + 0.0002X_3^2 + 0.0042X_1X_2 + 0.0007X_1X_3 - 0.0004X_2X_3. \quad (10)$$

Перевіряємо рівняння регресії (математичної моделі) на адекватність за критерієм Фішера:

$$F = S_{ад}^2 / S_{вотн}^2 < F_{теор}, \quad (11)$$

де
$$S_{ад} = \sum_{j=1}^{16} (y_j - y_j')^2 / (N-3),$$

$$S_{вотн} = \sum_{j=1}^2 (y_j - \bar{y}_j)^2 / (2-1),$$

$S_{ад}$ – дисперсія адекватності; $S_{вотн}$ – дисперсія відтворення; y_j і y_j' – показники схожості, визначені експериментальним і розрахунковим методами.

Провівши розрахунки, одержимо:

дисперсія адекватності $S_{ад} = 3,18$;

дисперсія відтворення $S_{вотн} = 1,32$.

Таким чином, розрахунковий критерій Фішера дорівнює $F = 3,18^2 / 1,32^2 = 5,8$.

Теоретична границя критичної області $F_{теор0,05;9;2} = 19,4$.

Рівняння адекватне, тому що

$$F = S_{ад}^2 / S_{восн}^2 < F_{теор} = 5,8 < 19,4.$$

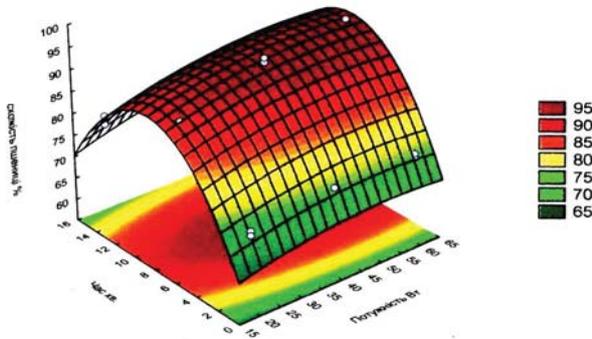
Визначимо оптимальний режим роботи установки під час опромінення насіння ячменя. Для цього проаналізуємо отримані рівняння на екстремуми відносно X_1, X_2, X_3 :

$$\begin{cases} \frac{\partial Y_3}{\partial X_1} = -0.008X_1 + 0.0042X_2 + 0.0007X_3 + 0.342 = 0; \\ \frac{\partial Y_3}{\partial X_2} = 0.0042X_1 - 0.688X_2 - 0.0004X_3 + 5.81 = 0; \\ \frac{\partial Y_3}{\partial X_3} = 0.0007X_1 - 0.0004X_2 + 0.0004X_3 - 0.051 = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Вирішуючи отриману систему, визначимо значення факторів, у разі співвідношення яких схожість насіння пшениці буде найбільша:

- потужність (X_1) – 50 Вт;
- час (X_2) – 8,7 хв.;
- маса насіння пшениці (X_3) – 50 гр.

Підставивши отримані значення в рівняння регресії, визначимо максимально прогнозовану схожість насіння пшениці після опромінення на установці ВЧ (рис. 3).



$$Y_3 = 97,5\%.$$

Рис. 3. Залежність схожості насіння пшениці від часу та потужності опромінення

Аналіз рівняння показав, що найбільш значущими факторами, що впливають на схожість насіння пшениці, є потужність і час.

Таким чином, головними факторами, що впливають на схожість насіння, є потужність опромінення і час експозиції.

Визначення електричних характеристик насипного насіння озимої пшениці проводили за допомогою вимірювача добротності (Q-метра) Е-4-4. Діапазон частот генератора цього приладу знаходиться в межах від 50кГц до 35 МГц.

Вимірювання проводилися на частотах 3, 6, 9, 12 МГц. Використовувався метод розстроювання ємності. Насіння насипали у вимірювальну комірку, в

якій знаходилися дві паралельні металеві пластинки, що утворювали плоский конденсатор. Діелектриком такого конденсатора виступало насипане в комірку насіння. Для вимірів застосовували котушки з попередньо визначеними значеннями індуктивності і добротності.

Вимірювали характеристики необробленого насіння (контрольна партія) і насіння, обробленого електромагнітним полем ВЧ діапазону. Опромінення ВЧ полем проводили на частоті 27,12 МГц за допомогою апарату УВЧ-60 Мед ТеКо. Потужність опромінення складала 60 Вт, а тривалість обробки – 5 хвилин.

Для обробки насіння ВЧ полем і для вимірювання його електричних характеристик використовувалося незволожене насіння, його вологість складала приблизно 10 %.

За допомогою Q-метра вимірювали комплексний опір, тобто активну і ємнісну складові опору. Для визначення цих характеристик використовували паралельну схему з'єднання ємності й активного опору. Це дозволило розрахувати діелектричну проникливість і питомий опір насіння.

Експериментальні результати визначення активного опору для неопроміненого і опроміненого насіння пшениці наведені на рис. 4.

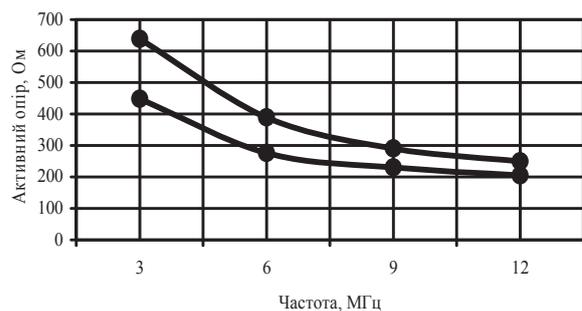


Рис. 4. Залежність активного опору опроміненого (нижня крива) і неопроміненого (верхня крива) насіння пшениці від частоти

Із наведених результатів видно, що обробка насіння полем ВЧ впливає на його електричні характеристики.

Слід зазначити, що в досліджах використовувалося сухе насіння, тобто насіння, яке спеціально не зволожували. Внаслідок цього ємнісна складова комплексного опору значно перевищує його активну складова і дозволяє, в даному випадку, вважати насіння діелектриком.

Опромінене насіння характеризується меншим значенням активного опору для паралельної схеми вимірювання, що пов'язано зі збільшенням проникливості мембран після опромінення насіння полем ВЧ.

Висновки

Розроблена фізико-математична модель електричних властивостей біологічних тканин рослин, що дає змогу аналізувати пасивні електричні характеристики насіння на різних частотах до і після опромінення.

Визначено, що еквівалентна електрична схема насіння є комбінованою й її неможливо звести до послідовно чи паралельно з'єднаних постійних ємності та активного опору. Експериментально підтве-

рджено, що під дією ВЧ опромінення змінюється опір; це пояснюється інтенсифікацією обмінних процесів, збільшенням водопоглинання і, як наслідок, стимулюється процес проростання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Thomasset A. Proprietes bioelectriques des tissus. Mesure de l'impedance en clinique / A. Thomasset // Lyon Med.-vol. 28.- 1962. – P. 107-109.
2. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ излучений / Э. Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 306 с.
3. Бородин И. Ф. Воздействие электромагнитной волны с семенем при дезинсекции зерна / И. Ф. Бородин, С. В. Вендин, С. Г. Кузнецов // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 6. – С. 8–10.
4. Грабовски Б. Справочник по электронике / Б. Грабовски. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 416 с.
5. Кутовой В. А. Высоочастотная технология защиты зерна от амбарных вредителей / В. А. Кутовой, Б. И. Рудяк, Л. А. Базыма // Вопросы атомной науки и техники. – 2001. – № 4. – С. 129-132.
6. Олейник В.П. Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами / В.П. Олейник. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 61 с.
7. Пат.51700 UA МПК (2009) A01C 1/00 (2010. 07). Спосіб передпосівного опромінення насіння зернових. / Петровський О.М., Смердов А.А., Жемела Г.П., Волков С.І., Ландар А.А. // власник Петровський О.М. Патент на корисну модель №51700. заявлено 15.02.2010; опубліковано 26.07.2010. Бюл. № 14 2010р.
8. Черенков А. Д. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина //Світлотехніка та електроенергетика / Міжнародний науково-технічний журнал. – Х.: ХНАМГ. – 2005. – № 5. – С. 77-80.

Рецензент: д-р. хім. наук, проф. В. В. Соловійов,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Полтава.

Received (Надійшла) 06.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.03.2019

Физико-математическая модель электрических свойств биологических тканей семян пшеницы и их изменения под влиянием электромагнитное излучение высокочастотного диапазона

А. Н. Петровский, Т. Ю. Кузнецова, С. В. Лейко, Л. И. Азарова

Представлены результаты экспериментальных исследований работы биотехнической системы облучения семян высокочастотным электромагнитным полем, непрерывным синусоидальным сигналом с разной выходной мощностью для семян пшеницы. Определены тепловое и осциляторное влияние электромагнитного поля на биологическую ткань. Предложена физико-математическая модель структуры биологической ткани на уровне клеточных мембран, внутренней и межклеточных сред с точки зрения электрических свойств. На основе строения клеток определены электрические свойства биологической ткани, из которой состоит семя растений. Показано изменение составляющих комплексного сопротивления в зависимости от частоты электромагнитного излучения с помощью которого проводилась стимуляция. Построено уравнение регрессии и проведена оценка их адекватности по критерию Фишера. Анализ уравнений регрессии позволил определить оптимальное соотношение независимых факторов для достижения максимального процента всхожести семян. Для наглядного отображения влияния данных факторов на показатель сходства построено поверхность отклика. Полученные результаты позволили конкретизировать критерии оценки облучения семян. Экспериментально доказано, что эквивалентную электрическую схему невозможно свести к простым случаям соединения сопротивлений и емкостей, а именно семена нельзя считать нейтральным диэлектриком. Разработана методика оценки интенсивности обменных процессов в зависимости от электрического сопротивления семян.

Ключевые слова: семена, мембрана, сопротивление, емкость, частота, эквивалентная схема, обменный процесс.

Physically-mathematical model of electrical properties of biological tissues of seeds of wheat and their changes after influence of electromagnetic radiation of high-frequency ranges

O. Petrovskiy, T. Kuznetsova, S. Leyko, L. Azarova

The results of experimental research of the biotechnical system of irradiation of seeds by high-frequency electromagnetic field, continuous sinusoidal signal with different output power for wheat seeds are highlighted. The thermal and oscillatory effects of the electromagnetic field on the biological tissue are determined. The physical-mathematical model of the structure of biological tissue at the level of cell membranes, internal and intercellular media from the point of view of electrical properties is proposed. Based on the structure of the cells, the electrical properties of the biological tissue from which the seeds of plants are composed are determined. Shown is the change in the components of the integrated resistance, depending on the frequency of electromagnetic radiation through which the stimulation was carried out. The equation of regression is constructed and an estimation of their adequacy according to Fischer's criterion. The analysis of the equations of regression allowed to determine the optimal ratio of independent factors for achieving the maximum percentage of similarity of the seeds. For a clear reflection of the influence of these factors on the similarity index, the response surface is constructed. The obtained results allowed to specify the criteria for evaluating the irradiation of seeds. It has been experimentally proved that an equivalent electric circuit can not be reduced to simple cases of the connection of resistances and capacities, and the seed can not be considered a neutral dielectric. The method of estimation of the intensity of exchange processes is developed, depending on the electrical resistance of the seeds.

Keywords: seed, membrane, resistance, capacity, frequency, equivalent circuit, exchange process.