

*Петровський О.М., старший викладач,  
Волков С.І., кандидат хімічних наук,  
Ландар А.А., кандидат технічних наук,  
Полтавська державна аграрна академія*

## ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСІННЯ ЯК ФАКТОР ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ ОБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

*Рецензент – доктор сільськогосподарських наук Г.П. Жемела*

*На основі будови клітин визначені електричні вла- стивості біологічної тканини з якої складається насіння. Розглянуті питання мембранного транс- порту, як основи обмінних процесів в біологічній тканині. Визначені частотні залежності комплекс- ного опору насіння. Показана зміна складових комплексного опору в залежності від частоти струму. Запропонована методика оцінки інтенси- вності обмінних процесів в залежності від елект- ричного опору насіння. Експериментально доведе- но, що еквівалентну електричну схему неможливо звести до простих випадків з'єднання опорів і єм- ностей, а саме насіння не можна вважати нейт- ральним діелектриком.*

**Ключові слова:** насіння, мембрана, опір, єм- ність, частота, еквівалентна схема, обмінний процес.

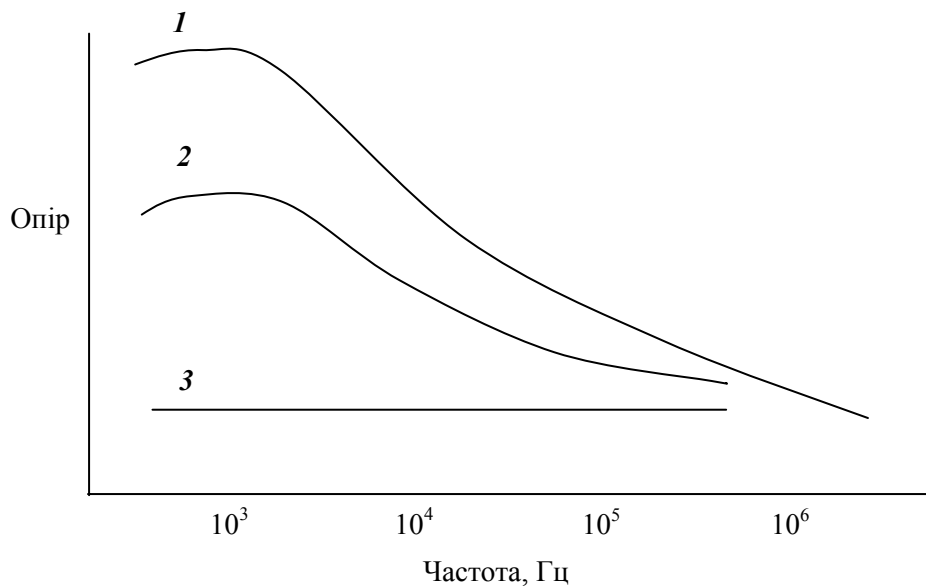
**Постановка проблеми.** Опромінювання на- сіння електромагнітним полем використовується для збільшення схожості та енергії росту [4]. Ре- зультат дії ультрависокочастотного електромаг- нітного поля на насіння залежить від електрич- них характеристик насіння. Крім того, вивчення зміни обмінних процесів після обробки насіння електромагнітним полем, насамперед його елек- тричних характеристик, дає нові уявлення про зміну біологічних параметрів насіння [1]. Тому в даній статті розглянуті деякі електричні власти- вості насіння та їх залежність від частоти, на якій проводяться вимірювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблем.** На- сіння зернових сільськогосподарських культур відноситься до біологічних об'єктів. Тканини біологічних об'єктів мають певні особливості, що стосуються їх електричних властивостей [5]. Активна електрична провідність біологічних тканин обумовлена, переважно, наявністю в тка- нинах води. Вільними носіями заряду є розчинені в цій воді іони. Таким чином, чим більший вміст води, тим більша провідність тканин і тим менший їх активний опір. До складу тканин вхо-

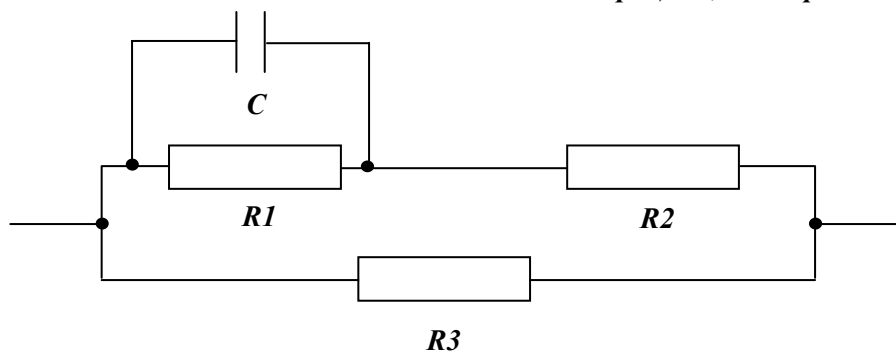
дять біологічні мембрани. В той час, коли в тка- нинах здійснюються обмінні процеси мембрани поляризовані. На внутрішній стороні мембрани накопичуються від'ємні заряди, а на зовнішній – позитивні. Поляризація мембран здійснюється за рахунок переважно роботи іонних насосів (зок- рема  $K^+Na^+$ -насоса). Ліпіди, що входять до складу біологічних мембран, є діелектриками. Поляризована мембрана з електричної точки зо- ру являє собою плоский конденсатор зі значним струмом витoku. Відповідно, наявність у біоло- гічних тканинах поляризованих мембран приво- дить до того, що крім активного опору біологічні тканини характеризуються ще і ємнісним опо- ром. Взагалі опір біологічних тканин, внаслідок вищезгаданих причин, буде комплексним.

За рахунок наявності ємнісної складової загаль- ний опір біологічних тканин залежить від частоти, на якій здійснюється вимірювання опору [2]. Зі збільшенням частоти загальний опір зменшувати- меться. Із зниженням інтенсивності обмінних процесів така залежність буде менш виражена. Коли клітинні мембрани зруйновані або їх фун- кції порушені, ємнісна складова опору відсутня, й загальний опір не залежить від частоти вимі- рювання (рис.1).

**Мета дослідження та методика проведення.** Метою досліджень було вивчення комплексного опору насипного насіння пшениці в залежності від частоти, при якій проводилися вимірювання. В роботі застосовується наступна методика до- слідження електричних характеристик насіння: для вимірювання електричних характеристик використовувався Q-метр Е4-4 з діапазоном ви- мірювальних частот від 50 кГц до 35 МГц. До- сліди виконані за допомогою вимірювальних комірок у вигляді двох паралельних металевих пластин, між якими було поміщене сухе насипне насіння. Для одержання LC-контурів вико- ристовували котушки індуктивності з відомими ха- рактеристиками L і R. Такі виміри дозволяють ви- значити активний опір комірки з насінням та її



**Рис. 1.** Залежність опору біологічних тканин від частоти струму: 1 – жива тканина; 2 – тканина зі зниженою інтенсивністю обмінних процесів; 3 – мертва тканина



**Рис. 2.** Еквівалентна електрична схема біологічної тканини: *C* – ємність мембран; *R1* – активний опір мембран; *R2* – опір клітин; *R3* – опір міжклітинного середовища

ємність для паралельної і послідовної схеми з'єднання опору і ємності. Використовуючи значення опору та ємності при паралельному з'єднанні, можна розрахувати ефективні значення питомого опору і діелектричної проникливості:

$$\rho = RS/l,$$

$$\varepsilon = C_1/C_2,$$

де: *S* – площа пластин вимірювальної комірки; *l* – відстань між пластинами;

*C*<sub>1</sub> і *C*<sub>2</sub> – ємність комірки з насінням і без насіння відповідно.

**Результати досліджень.** Еквівалентна електрична схема біологічної тканини може бути представлена у вигляді, показаному на рис. 2.

Аналізуючи наведену схему та провівши необхідні розрахунки, легко показати, що вираз для комплексного опору може мати простий вигляд лише у деяких окремих випадках.

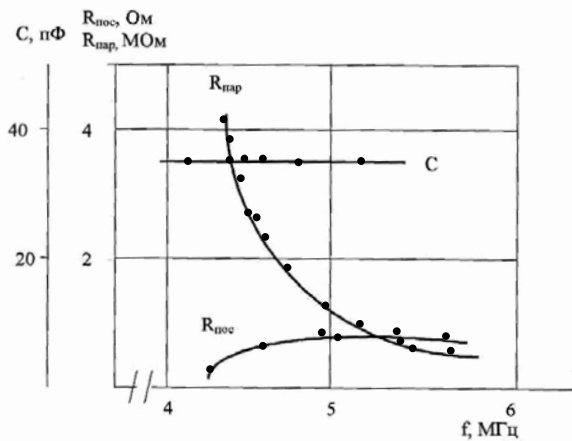
Якщо, наприклад, здійснюється висока поля-

ризація клітинних мембран (значна інтенсивність обміну речовин) і, крім того, можна знехтувати провідністю міжклітинного середовища, то опір насіння складається з послідовного з'єднання активного й ємнісного опору.

Якщо опір комірки переважно реактивний (ємнісний), але провідністю міжклітинного середовища нехтувати не можна, то в цьому випадку ми маємо паралельне з'єднання активного опору міжклітинного середовища і ємнісного опору мембран.

Слід мати на увазі, що при достатньо низьких і достатньо високих частотах опір тканини буде переважно активним, хоча його абсолютне значенням при низьких частотах суттєво залежить від ступеня поляризації клітинних мембран.

На рис. 3 показаний фрагмент частотної залежності активного опору й ємності вимірювальної комірки з сухим насінням.



**Рис. 3. Частотна залежність ємності  $C$  вимірювальної комірки з насінням пшениці та активного опору для послідовної  $R_{\text{пос}}$  і паралельної  $R_{\text{пар}}$  еквівалентної схеми з'єднання**

Аналіз результатів наведених на рис. 3, показує, що ні паралельна, ні послідовна еквівалентні схеми з'єднання постійних ємності та опору не може бути достатньою для опису властивостей насіння ні в першому  $R_{\text{пос}}$ , ні в другому  $R_{\text{пар}}$  випадках. Ці величини не залишаються сталими при зміні частоти. Такий результат підтверджує наведений вище (див. рис. 1) теоретичний аналіз електричних властивостей насіння. При великих добротностях зв'язок між  $R_{\text{пос}}$  і  $R_{\text{пар}}$  може бути зведений до співвідношення

$$R_{\text{пар}} = R_{\text{пос}} (1 + Q^2) = R_{\text{пос}} \left[ 1 + \left( \frac{X_{\text{пос}}}{R_{\text{пос}}} \right)^2 \right] \approx \frac{X_{\text{пос}}^2}{R_{\text{пос}}}$$

При значній добротності вимірювальної комірки з сухим насінням значення ємностей для паралельної і послідовної схем практично співпа-

### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Гордеев А.С. Электрофизические критерии качества плодов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – №7. – С. 10–16.
2. Деркач М.П. Основы биофизики. – Львів: Вид-во Львівського ун-ту, 1967. – 278 с.
3. Дроздов Н.Г., Никулин Н.В. Электроматериаловедение. – М.: Высшая школа. – 1968. – 310 с.

дають ( $C_{\text{пар}} \approx C_{\text{пос}}$ ), оскільки

$$C_{\text{пос}} = C_{\text{пар}} (1 + Q^2) / Q^2$$

Експерименти показують, що при цьому електрична ємність сухого насипного насіння мало змінюється з частотою, на якій проводиться вимірювання, а ефективне значення діелектричної проникливості  $\varepsilon = 1,2$ .

Тангенс кута діелектричних втрат зростає з ростом частоти, що не характерно для нейтрального діелектрика [3]. Зменшення тангенса кута діелектричних втрат у нейтрального діелектрика з ростом частоти пояснюють зменшенням струму провідності у діелектрику, оскільки іони не встигають за зміною напрямку електричного поля. Таким чином, одержані результати вказують на те, що сухе насіння не можна, безсумнівно, віднести до нейтрального діелектрика. Треба враховувати полярну складову втрат енергії. Тобто, у втратах енергії насіння суттєву роль відіграє переорієнтація полярних молекул.

**Висновки:** 1. Одержані результати дозволяють аналізувати пасивні електричні характеристики насіння на різних частотах.

2. Експериментально доведено, що у широкому діапазоні частот еквівалентну електричну схему насіння неможливо звести до послідовно чи паралельно з'єднаних постійних ємності й активного опору.

3. На основі одержаних експериментальних даних доведено, що сухе насіння не можна вважати нейтральним діелектриком. При розгляді його електричних властивостей треба враховувати переорієнтацію полярних (дипольних) молекул у змінному електричному полі.

4. Кудрявцев И.Ф., Красненко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. – М.: Колос. – 1975. – 382 с.
5. Мэрион Дж. Б. Общая физика с биологическими примерами: пер. с англ.; под ред. А.Д. Суханова. – М.: Высшая школа, – 1986. – 623 с.