

6. Kond, L., Pan, Q. and Cui, B. (1999). Magnetotransport and domain structures in nanoscale NiFe/Cu/Co spin-valve. *J. Appl. Phys.*, 85(8): 5492-5494.
7. Vonsovsky, S.V. (1971). Magnetizm. Nauka, Moskov.
8. Chebotkevich, L.A., Vorob'ev, Yu.D., Burkova, I.N. and Kornilov, A.V. (2000). Structure and magnetic properties of the annealed films of Co/Cu/Co. *Phys. Met. Metallogr.*, 89(3): 56-61.
9. Baibich, M.N., Broto, J.M. and Fert, A. (1988). Giant magnetoresistance of (001)Fe/ (001) Cr magnetic superlattices. *Phys. Rev. Lett.*, 61(21): 2472-2475.
10. Tsymbal, E.Y. and Pettifor, D.G. (2001). Perspectives of giant magnetoresistance. *Solid State Phys.*, 56: 113-237.
11. Fedosyuk, V.M., Rivas, Kh.P. and Kasyutich, O.I. (1997). Investigation of the transition from multilayer to granular films in the cobalt-copper system. *Tech. Phys.*, 42(12): 1451-1453.
12. Inower, I., Ito, Kh., Asano, I., Oguri, A. and Maekava, S. (1995). Theory of electronic structures and magneto transport in multilayers. *Phys. Met. Metallogr.*, 79(1): 35-41.
13. Vas'kovskii, V.O., Yuvchenko, A.A., Lepalovskii, V.N., Shchegoleva, N.N. and Svalov, A.V. (2002). Elements of the granular state in multilayered Co/Cu films. *Phys. Met. Metallogr.*, 93(3): 232-248.
14. Dieny, B. (1994). Giant magnetoresistance in spin-valve multilayers. *J. Magn. Magn. Mater.*, 136(3): 335-359.

Лобода В.Б., Кравченко В.О., Хурсенко С.М. Структура і магніторезистивні властивості тришарових плівкових систем CoNi/Ag(Cu)/FeNi

Представлені результати дослідження структурно-фазового стану і магніторезистивних властивостей (анізотропного і гігантського магнітоопору) тришарових нанокристалічних плівкових систем CoNi/Ag(Cu)/FeNi в умовах надвисокого безмасляного вакууму.

Ключові слова: кристалічна структура, фазовий склад, тришарові нанокристалічні плівки, анізотропний і гігантський магнітоопір

Лобода В.Б., Кравченко В.А., Хурсенко С.Н. Структура и магниторезистивные свойства трехслойных пленочных систем CoNi/Ag(Cu)/FeNi

Представлены результаты исследования структурно-фазового состояния и магниторезистивных свойств (анизотропного и гигантского магнитосопротивления) трехслойных нанокристаллических пленочных систем CoNi/Ag(Cu)/FeNi в условиях сверхвысокого безмасляного вакуума

Ключевые слова: кристаллическая структура, фазовый состав, трехслойные нанокристаллические пленки, анизотропное и гигантское магнитосопротивление

Стаття надійшла в редакцію: 21.08.2016
Рецензент: д.т.н., проф. Антошевський Б.

УДК 546.185:621.28

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЙ РАЗНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ
НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ (БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫЕ) ОБЪЕКТЫ:
РЕЗОНАНСНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И НАНОЭФФЕКТЫ ПРИ КВЧ-ОБРАБОТКЕ ЗЕРНА И СЕМЯН**

Д. Г. Войтюк, к.т.н. проф., чл-кор. НААН України;
Ю. В. Човнюк, к.т.н., проф. МКА;
Ю. О. Гуменюк, к.т.н., доцент,
И. Н. Сивак, к.т.н., доцент;
А. П. Гуцол, к.т.н., доцент
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Цель исследования. Установление основных закономерностей резонансного взаимодействия и наноэффектов при крайне-высокочастотной (КВЧ) обработке зерна и семян (несущая частота $f \approx 60$ ГГц).

Методы исследования. Для реализации поставленной цели были использованы методы комплексного математического и компьютерного моделирования с применением методов математического анализа, дифференциальных уравнений в частных производных и основных положений электродинамики.

Результаты исследования. Действие ЭМП на клеточную мембрану вызывает выведение семян из состояния покоя и стимуляцию их посевных показателей, а пробивание мембраны приводит к угнетению и гибели биологической клетки и биоорганизма в целом. Внутренний электрический потенциал клетки растет под действием внешнего ЭМП. Этот эффект стимулирует ин-

тенсивний обмін речовин клітки через калієві та натрієві канали. Процес обміну починається при мінімальній різниці потенціалів. Цей потенціал перевищує потенціали іонів харчування та виведення «отходів» із кліток (т.н. «пороговий ефект» КВЧ-облучення біологічних кліток).

Проведений системний аналіз фізичних механізмів впливу полів різної фізичної природи (температурних, електричних, електромагнітних) на рослинні біологічно активні матеріали. На основі проведеного аналізу запропоновано перспективні напрямки розвитку енергозберігаючих технологій підготовки та переробки сільськогосподарської продукції в АПК України, забезпечуючі принципово нове та краще якість насіння матеріалу.

Висновки. Встановлено основні фізичні механізми впливу ЕМП на біологічні клітки та дано оцінку основних параметрів вказаних впливів для електромагнітних волн СВЧ-КВЧ-діапазонів в залежності від співвідношення довжини хвилі λ та розміру клітки D . Максимальний ефект від впливу електромагнітних полів спостерігався в тому випадку, коли розмір клітки збігався з довжиною хвилі електромагнітного поля.

Ключові слова: системний аналіз, вплив, поля, фізична природа, рослинні (біологічно активні) об'єкти, резонанс, взаємодія, наноефекти, КВЧ-обробка, насіння, зерно.

ПРОБЛЕМА.

Застосування у агропромисловому комплексі нових низькоенергоємних електротехнологій, заснованих на використанні відкритих у останні десятиліття електрофізичних ефектів, є якісним стрибком для сільського господарства.

До числа таких технологій у першу чергу слід віднести використання біофізичних особливостей впливу енергії електромагнітного поля (ЕМП) надвисокої частоти (НВЧ), пов'язаних як з тепловими ефектами, так і з нетепловими, які проявляють себе на нанорівні.

Розробка енергозберігаючих НВЧ-агротехнологій заснована на системному аналізі всіх аспектів впливу енергії ЕМП НВЧ на рослинні (біологічно активні) об'єкти:

- діелектричне нагрівання (температурний вплив);
- вплив електричної складової (напруженості) поля на біоклітини;
- резонансні впливи/взаємодії електромагнітних полів НВЧ з власними електромагнітними полями біооб'єктів, які впливають на метаболізм біоклітин.

Питома активна потужність, яка визначає кількість тепла, яке виділяється при НВЧ-нагріванні, у одиниці об'єму матеріалу, зв'язана з діелектричними властивостями матеріалу E' та $tg\delta$ (тангенс діелектричних втрат) й параметрами електромагнітного поля: напруженістю E та частотою f . Тому НВЧ-нагрівання має наступні особливості:

- а) високий ККД перетворення НВЧ-енергії у теплову (близький до 100%);
- б) безінерційний спосіб нагрівання об'єкту «зсередини» з винятково високою інтенсивністю (температура і швидкість НВЧ-нагрівання регулюються напруженістю E та частотою f ЕМП);
- в) безконтактне екологічно чисте підведення енергії;
- г) рівномірне нагрівання по усій масі продукту і його вибірковість у випадку нерівності

діелектричних властивостей (параметрів E' та $tg\delta$).

Останнє практично означає, що, оскільки діелектричні властивості води приблизно у десятки разів вище власної сухої речовини, наприклад, зерна чи трави, тоді при НВЧ-нагріванні цих матеріалів у першу чергу буде нагріватись вода всередині їх капілярів. На макрорівні це проявляє себе у більшому нагріванні вологих матеріалів у порівнянні з сухими, а на мікрорівні капілярів – у зміні фізичних властивостей й агрегатного стану води у них, а також фізики масоперенесення.

У зерні, яке є основним сільськогосподарським продуктом, присутні капіляри з переважним радіусом (для зерна пшениці при температурі 25°C) розміром $1,25 \cdot 10^{-9}$ м й відсутні мікрокапіляри, тобто капіляри, радіус котрих перевищує 10^{-7} м. Такий розмір капілярів обумовлює закономірності переносу вологи у зерні на нанорівні у молекулярному, спрямованому й регульованому режимі, а не у звичайному повільному й малокерованому дифузійному.

За наявності суттєвої швидкості НВЧ-нагрівання всередині вологого оброблюваного матеріалу створюється потужне джерело теплоти $P_{\text{пит}}$ й високий градієнт надлишкового ∇p тиску вологоповітряної суміші. Всі види дифузійного переносу тепла й вологи пригнічуються, і переважає молекулярне масоперенесення типу фільтрації газу через дисперсні середовища. Практично саме це забезпечує можливість регульованого за інтенсивністю переміщення вологи з внутрішніх прошарків зерна до його поверхні. Цей ефект може бути використаний у практиці висушування сільськогосподарських матеріалів для підвищення його інтенсивності та ефективності.

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відома [2] загальна система диференціальних рівнянь тепломасоперенесення може бути перетворена у частинний випадок інтенсивного НВЧ-нагрівання шляхом виключення низки складових членів правої частини рівнянь, які

визначають дифузійні види тепло- й масоперенесення, і приймає вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T + \frac{P_{\text{пит.}}}{c_0 \rho_0} \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \nabla^2 p, \end{cases} \quad (1)$$

де $P_{\text{пит.}}$ – питома потужність; p – надлишковий тиск пароповітряної суміші в середині капілярів матеріалу; τ – час; T – температура; a_p – коефіцієнт молярної дифузії пару; a – коефіцієнт термодифузії при НВЧ-нагріванні; c_0 – ємкість зразка матеріалу по відношенню до вологого повітря; ρ_0 – щільність пароповітряної суміші; ∇ – оператор Лапласа.

При обробці НВЧ-енергією зернових та інших рослинних матеріалів, крім результатів, пов'язаних прямо з температурним фактором багатьма дослідниками [1 - 4] вказано на низку явищ нетеплового характеру, які проявляють себе на клітинному й молекулярному рівнях.

Мета роботи полягає у встановленні основних закономірностей резонансної взаємодії та наноефектів при крайньо-високочастотній (КВЧ) обробці зерна й насіння (несуча частота $f \approx 60$ ГГц).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.

1. Фізичний механізм впливу ЕМП на біоклітини.

Припускаємо, що при опромінюванні біологічних клітин (наприклад, насіння рослин) ЕМП (НВЧ-) та (КВЧ-) діапазонів на їх цитоплазматичній мембрані з'являється електрична напруженість, яка перевищує за величиною у $\frac{D}{2d}$ разів

величину напруженості на клітині в цілому, де D – розмір клітини, d – товщина клітинної мембрани. Ця напруженість збільшує електропровідність натрієвих та калієвих каналів мембрани й при певних її значеннях призводить до біоелектричного пробивання мембрани без утворення скрізного електроіскрового каналу.

Збільшення провідності клітинних мембран викликає виведення насіння зі стану спокою і стимуляцію його посівних показників, а пробивання мембрани призводить до пригнічення й загибелі біологічної клітини й біоорганізму у цілому.

Найбільший ефект від впливу ЕМП спостерігається на довжинах електромагнітних хвиль $\lambda \leq 2D$. Оскільки розмір клітини D розглядуваних біооб'єктів знаходиться у межах від 5 до 500 μm , то вище вказані явища спостерігаються тільки у НВЧ-КВЧ діапазонах, тобто для частот (лінійних):

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon}2D} \approx \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{81} (10 \dots 1000) \cdot 10^{-6} \text{ м}} \approx \frac{3 \cdot 10^8 \text{ Гц}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9 (10^{-5} \dots 10^{-3})} \approx (5,3 \dots 530) \text{ Гц} \quad (2)$$

У (2) c – швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі; ϵ – діелектрична проникливість (відносна) простору біоклітини ($\epsilon \approx \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 81$); f – лінійна, ω – циклічна частоти коливань ЕМП.

При НВЧ-опромінюванні ($f \approx 5 \dots 6$ ГГц) біооб'єктів напругою з амплітудою U_m і довжиною електромагнітної хвилі λ , на біоклітину (рис. 1) діє миттєва напруженість, котра дорівнює:

$$E = \frac{2U_m}{D} \sin(\omega \cdot t). \quad (3)$$

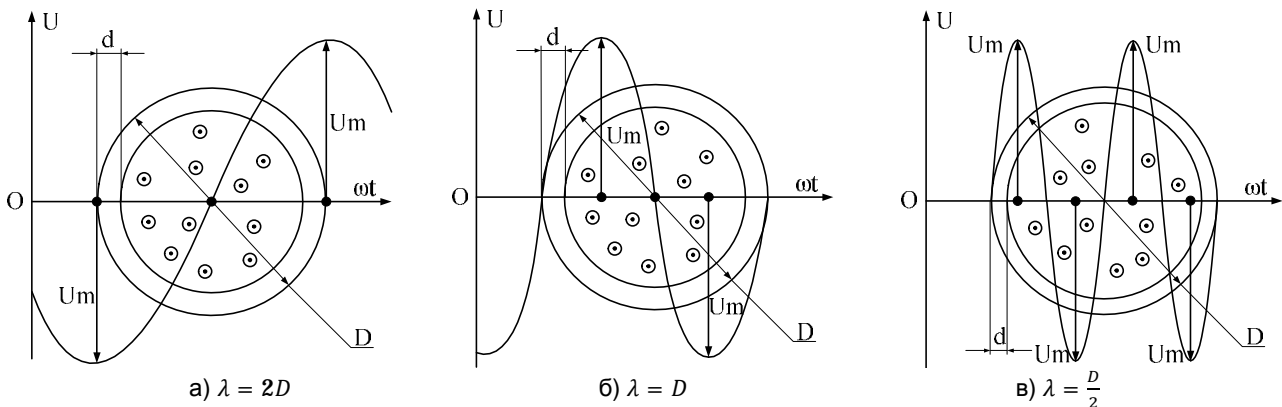


Рис.1. Модель розподілу миттєвої напруги U хвилі КВЧ-електромагнітного поля на біоклітині: D – діаметр клітини; d – товщина біоклітини; λ – довжина хвилі; ω – кутова частота; t – час; \odot – складові елементи клітини.

При $\lambda \leq 2D$ максимальна напруженість на клітині буде дорівнювати:

$$E_{k_{\text{max}}} \leq \frac{4U_m}{\lambda}. \quad (4)$$

Залежність $E_{k_{\text{max}}}$ від частоти f ЕМП можна знайти, підставляючи у рівняння (4) відоме співвідношення $\lambda = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon}f}$.

Тоді отримаємо напруженість на клітині:

$$E_{k_{\text{max}}} \leq \frac{4U_m 2\pi\sqrt{\epsilon}f}{c} \cdot \frac{D}{d}, \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad (5)$$

Оскільки по аналогії з електричним конден-

сатором у клітині немає скрізних струмів, а тільки діють струми зміщення, які викликають появу на мембранах електричних потенціалів, тоді всередині протоплазми клітини напруженість відсутня. Внаслідок цього напруга електромагнітної хвилі на клітині, що дорівнює $U_k = E_{k_{\text{max}}} D$, створює на подвійному прошарку мембрани (рис. 1, а) напруженість:

$$E_{k_{\text{max}}} = \frac{4U_m 2\pi\sqrt{\epsilon}f}{c} \cdot \frac{D}{d}, \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad (6)$$

Оскільки $D \gg 2d$, то напруженість на мем-

брані більше, ніж на клітині:

$$E_m = E_{kmax} \cdot \frac{D}{2d} \quad (7)$$

На мембранах клітин виникають електричні потенціали від зовнішніх і внутрішніх зарядів (іонів та електронів) клітини. За рахунок різниці зовнішнього і внутрішнього потенціалів відбуваються:

а) транспорт іонів поживних речовин;

б) окисно-відновні процеси у клітині й накопичення енергії у молекулах.

При цьому збільшується внутрішній електричний потенціал клітини, і починаються процеси винесення іонів (продуктів життєдіяльності) з клітини зі зниженням внутрішньої енергії і електропотенціалу.

Різниця потенціалів створює на мембрані напруженість, рід дією якої відбувається обмін речовин клітини через натрієві та калієві канали. Процес обміну починається при мінімальній різниці потенціалів, що перевищує потенціал іонів живлення й винесення «відходів» з клітин (т.з. «пороговий ефект» КВЧ-опромінювання біологічних клітин).

2. Перспективи енергозберігаючих технологій підготовки й переробки сільськогосподарської продукції у АПК України.

За результатами проведення теоретичних і наявних експериментальних [3 - 5] досліджень стає реальною розробка й перевірка у лабораторних і виробничих умовах енергозберігаючих технологій підготовки й переробки сільськогосподарської продукції у АПК України, які забезпечать у ряді випадків принципово нову й кращу якість. Їх ефективність обумовлена використанням специфічних наноефектів впливу НВЧ-(КВЧ)-енергії на біологічні об'єкти.

Основою ефективного використання, зокрема, КВЧ-енергії у розроблюваних нових технологічних процесах повинен стати принцип

комбінованої обробки рослинних матеріалів. Така обробка використовується у обмеженому діапазоні й тільки для отримання якісно нових ефектів, недосяжних чи важкодостижних раніше відомими способами.

При підсушуванні зерна може бути використаний ефект спрямованого регульованого руху вологи з внутрішніх прошарків до його поверхні у зону інтенсивного випаровування, при мікронізації зерна – створення нерелаксуючого надлишкового тиску всередині капілярів, який забезпечує «вибуховий» ефект, руйнування крохмальних зерен й перехід природного крохмалю у декстрини (останні легко засвоюються тваринами); при висушуванні трав – ефект електроплазмолізу у клітині, котрий у сполученні зі збільшенням проникності клітинних мембран дозволить суттєво збільшити інтенсивність віддачі вологи матеріалу при збереженні усіх поживних речовин; при передпосівній обробці насіння – ефект інтенсифікації обміну у рослинній клітині.

Нові низькоенергомісткі технології, які використовують наноефекти впливу КВЧ-енергії на рослинні сільськогосподарські матеріали, можуть стати для АПК України проривом.

ВИСНОВКИ

1. Встановлені основні фізичні механізми впливу ЕМП на біологічні клітини й дана оцінка основних параметрів вказаних впливів для електромагнітних хвиль НВЧ-КВЧ-діапазонів у залежності від співвідношення довжини хвилі λ й розміру клітини D .

2. Запропоновані перспективні напрямки розвитку енергозберігаючих технологій підготовки й переробки сільськогосподарської продукції у АПК України, які забезпечують принципово нову й кращу якість насінневого матеріалу.

Список використаної літератури:

1. Некрутман С.В. Тепловая обработка пищевых продуктов в электрическом поле сверхвысокой частоты. / С.В. Некрутман. – М.: МИНХ, 1972. – 141с.
2. Рогов И.А. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов. / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 212с.
3. Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве. / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин. – М.: ВНИИТЭИ агропром, 1987. – 56с.
4. Пахомов В.И. Посевные качества семян сорго, подсолнечника и кукурузы в зависимости от их обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты. / В.И. Пахомов, Б.Н. Малиновский, А.С. Казакова, Е.В. Ионова, Э.И. Липкович// Доклады ВАСХНИЛ. – 1987. - №11.
5. Пахомов В.И. Оптимизация тепловой обработки фуражного зерна СВЧ-энергией. / В.И. Пахомов, В.Д. Каун //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. - №9. – С.8 – 10.

Войтюк Д.Г., Човнюк Ю.В., Гуменюк Ю.О., Сівак І.М., Гуцол О.П. Системний аналіз впливу полієлектромагнітної природи на рослинні (біологічно-активні) об'єкти: резонансні взаємодії та наноефекти при КВЧ-обробці зерна і насіння

Мета дослідження. Встановлення основних закономірностей резонансної взаємодії та наноефектів при крайньо-високочастотній (КВЧ) обробці зерна й насіння (несуча частота $f \approx 60$ ГГц). Методи дослідження.

Для реалізації поставленої мети були використані методи комплексного математичного і комп'ютерного моделювання з застосуванням методів математичного аналізу, диференціальних рівнянь у частинних похідних та основних положень електродинаміки.

Результати дослідження.

Дія електромагнітного поля (ЕМП) на клітинну мембрану викликає виведення насіння зі стану спокою і стимуляцію його посівних показників, а пробивання мембрани призводить до пригнічення й загибелі біологічної клітини й біоорганізму у цілому. Внутрішній електричний потенціал клітини зростає під дією зовнішнього ЕМП. Цей ефект стимулює інтенсивний обмін речовин клітини через калієві і натрієві канали. Процес обміну починається за мінімальної різниці потенціалів. Цей потенціал перевищує потенціали іонів живлення й винесення «відходів» з клітин (т.з. «пороговий ефект» КВЧ-опромінювання біологічних клітин).

Проведений системний аналіз фізичних механізмів впливу полів різної фізичної природи (температурних, електричних, електромагнітних) на рослинні біологічно активні матеріали. На основі проведеного аналізу запропоновані перспективні напрямки розвитку енергозберігаючих технологій підготовки й переробки сільськогосподарської продукції у АПК України, які забезпечують принципово нову й кращу якість насінневого матеріалу.

Висновки. Встановлені основні фізичні механізми впливу ЕМП на біологічні клітини й дана оцінка основних параметрів вказаних впливів для електромагнітних хвиль НВЧ-КВЧ-діапазонів у залежності від співвідношення довжини хвилі λ й розміру клітини D . Максимальний ефект від впливу електромагнітних полів спостерігався у випадку коли розмір клітини співпадає з довжиною хвилі електромагнітного поля.

Ключові слова: системний аналіз, вплив, поля, фізична природа, рослинні (біологічно активні) об'єкти, резонанс, взаємодія, нано-ефекти, КВЧ-обробка, насіння, зерно.

D.G Voytyuk, Yu.V. Chovniuk, Yu.O. Gumeniuk, I. M. Sivak, A.P. Hutsol System analysis of influence the different physical fields on plants (biologically active) object: resonant interaction and nano-effects at EHF-irradiation of grains and seeds

The purpose. To determinate the basic laws of resonance interaction and nanoeffects under the influence of UHF- irradiation on grain and seeds (carrier frequency $f \approx 60$ GHz).

Methods. To achieve the purpose were used the complex methods of mathematical and computational modeling with application of methods of mathematical analysis, partial differential equation and the main laws of electrodynamics.

Results. The conduction of cell's membranes in electromagnetic fields of EHF causes the extraction of seeds from the stage of resting and stimulates its sow's parameters, but membrane's destroy causes oppression and even death of biological cell and of the whole bioorganism as well. Usually, the internal electric potential of cell is increased with the help of external EHF- electromagnetic field. This effect stimulates the intensive interchange of cell's substance along Na- and K- channels. The process of interchange begins for the minimum potential difference. This potential is excesses the potential of ion's feed and of the potential which removes all "wastes" from the cell, so-called "threshold effect" of the EHF- irradiation of biocells. In the article was conducted an Systematic analysis of physical mechanisms of influence the fields with different physical nature (thermal, electric, electromagnetic) on vegetative biologically active materials. On the basis of the analysis it was suggested the promising directions for development the energy saving technologies of preparation and processing of agricultural products in agricultural sector of Ukraine, which provide a fundamentally new and better quality seed.

Conclusions. Our research has uncovered the basic physical mechanisms of influence EHF on biological cells and assess the main parameters of these effects for EHF-electromagnetic waves depending on the ratio of the wavelength λ and the size of the cell D . The maximum effect of this influence of the electromagnetic field is observed when the size of biocell is equal to the electromagnetic field's wave length.

Keywords: system analysis, influence, fields, physical nature, vegetable (biologically active) objects, resonance, interaction, nano-effects, EHF-irradiation, seeds, grains.

Стаття надійшла в редакцію: 27.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Тарельник В.Б.