

**Определение уравнения регрессии очистки фенольных сточных вод с добавлением биогенов добавки карбамида/ О. А. Дупенко, А. И. Трикило** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 16(1238). – С.136–141. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Determination of regression equations of purification of phenolic wastewater with the addition of nutrient additive – urea/ O. Dupenko, A. Trukilo** // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238). – P. 136–141. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Дупенко Ольга Олександрівна** – аспірант, Дніпровський державний технічний університет, Кафедра Хімічної технології неорганічних речовин, вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, Україна, 51918;

**Трикило Алік Іванович** – кандидат технічних наук, Дніпровський державний технічний університет, доцент, Кафедра Електроніки, вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, Україна, 51918;

**Дупенко Ольга Александровна** – аспірант, Днепропетровский государственный технический университет, Кафедра Химической технологии неорганических веществ, ул. Днепропетровская, 2, м. Каменское, Украина, 51918;

**Трикило Алик Иванович** – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский государственный технический университет, Кафедра Электроники, ул. Днепропетровская, 2, м. Каменское, Украина, 51918;

**Dupenko Olga** – postgraduate student, Dneprovsk State Technscal University, the department «Chemical technology of inorganic substances»; str. Dneproetrovskaya, 2, Kamenskoe, Ukraine; 51918;

**Trukilo Alik** – PhD, Dneprovsk State Technscal University, associate professor of the department «Electronics»; str. Dneproetrovskaya, 2, Kamenskoe, Ukraine; 51918

УДК 631.371

**А. Ю. ФЕДЮШКО**

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЯБЛОК СО СЛОЕМ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Решена задача по распределению электромагнитного излучения в микро-организмах на поверхности яблок. В результате теоретических исследований с использованием потенциалов Дебая и метода разделения переменных в сферической системе координат, было получено скалярное уравнение Гельмгольца для электрического потенциала Дебая. Решение уравнения позволило получить формулы для расчёта среднего значения электрического поля на поверхности яблок. Среднее значение электрического поля связано с определением биотропных параметров для уничтожения микроорганизмов.

**Ключевые слова:** слой микроорганизмов на поверхности яблок; распределение электрического поля в поверхностном слое яблок; биотропные параметры электромагнитного излучения.

Розв'язана задача по розподілу електромагнітного випромінювання в мікроорганізмах на поверхні яблук. В результаті теоретичних досліджень з використанням потенціалів Дебая і методу розділення змінних в сферичній системі координат, було отримано скалярне рівняння Гельмгольца для електричного потенціалу Дебая. Вирішення рівняння дозволило отримати формули для розрахунку середнього значення електричного поля на поверхні яблук. Середнє значення електричного поля пов'язано з визначенням біотропних параметрів для знищення мікроорганізмів.

**Ключові слова:** шар мікроорганізмів на поверхні яблук; розподіл електричного поля в поверхневому шарі яблук; біотропні параметри електромагнітного випромінювання.

Subject of this article is distribution of electromagnetic radiation in microorganisms on the surface of apples. Through theoretical studies based on Debye potentials and the method of separation of variables in a spherical coordinate system the Helmholtz scalar equation for the Debye electric potential was obtained. Solving of this equation allowed to obtain formulas for calculating the average value of the electric field on the surface of apples. The average value of the electric field is connected to the calculation of biotrophic parameters for the destruction of microorganisms.

**Keywords:** layer of microorganisms on the surface of apples; distribution of the electric field in the surface layer of apples; biotrophic parameters of electromagnetic radiation.

**Введение.** Обеспечение населения плодовой продукцией определяется не только уровнем производства, но и эффективной организацией хранения.

Практический опыт показывает, что для хранения плодово-ягодной продукции широкое распространение получил метод хранения плодов в холодильных камерах с регулируемой газовой средой (РГС)[1].

Существенным недостатком газовой среды является то, что избыточное содержание углекислого газа в атмосфере хранения способно вызывать нарушение обмена веществ и развитие побурения тканей перикарпия, даже у сортов, устойчивых к этим заболеваниям. Из-за избыточного накопления продуктов анаэробного обмена резко снижаются вкусовые качества, повышается чувствительность к низкотемпературным повреждениям, снижается устойчивость к микроорганизмам. Значительная доля потерь плодов (до 30 %) в период хранения приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями (плесень, стрептококки, грибки, споровые бактерии и др.) [1, 2].

© А. Ю. Федюшко. 2017

Анализ показывает, что современная технология хранения плодов в газовой среде является не всегда эффективной и дорогостоящей. В связи с чем возникает необходимость в разработке новых, более доступных и менее затратных технологий хранения [3].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Основными потерями объёмов фруктов при хранении являются потери, связанные с болезнями грибкового характера; их объём трудно поддается прогнозам, но в случае массового распространения может достигать 100%. При существующих способах хранения: обычная, регулируемая, модифицированная атмосферы не обеспечивают защиту плодов яблони от физиологических и грибковых болезней, не гарантируют сохранение их исходного качества на стадиях хранения и реализации. Из всего количества полученной продукции требования высшего и первого сортов удовлетворяют не более 60% плодов [1].

Эффективная, недорогая и доступная технология хранения плодов может быть осуществлена с помощью использования низкоэнергетической электромагнитной технологии и электронных систем для уничтожения грибковых микроорганизмов на поверхности плодов яблони для их длительного хранения. Применение низкоэнергетического электромагнитного излучения связано с наименьшими затратами энергии при максимальном влиянии на процессы ингибирования жизнедеятельности микроорганизмов [4]. Однако, уничтожение грибковых микроорганизмов плодов яблони может быть получено только при оптимальном сочетании биотропных параметров воздействующего ЭМП (частота излучения, плотность потока мощности, экспозиция и др.). Таким образом, исследование и разработка низкоэнергетических электромагнитных методов и источников электромагнитного излучения для уничтожения грибковых микроорганизмов плодов яблони является актуальной задачей.

**Объект, цель и задачи исследования.** *Объект исследования.* Процесс влияния низкоэнергетических электромагнитных излучений на микроорганизмы, вызывающие физиологические и грибковые болезни на плодах яблони в процессе их длительного хранения.

**Целью работы** является определение резонансной частоты электромагнитного излучения для уничтожения грибковых микроорганизмов на поверхности плодов яблони в процессе их длительного хранения.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Обосновать модель поверхности яблок со слоем грибковых микроорганизмов.

2. С использованием потенциалов Дебая и метода разделения переменных

получить уравнение Гельмгольца для определения среднего значения электрического поля на поверхности яблок в зависимости от диэлектрических параметров грибковых микроорганизмов и частоты возбуждающего поля.

**Распределение напряжённости электрического поля на поверхности яблок со слоем грибковых микроорганизмов.** В качестве электродинамической

модели биологического объекта (яблока) будем рассматривать шар радиусом  $R$  заполненный изотропной однородной средой с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1 \varepsilon_0$  и магнитной проницаемостью  $\mu_0$  ( $\varepsilon_0$  и  $\mu_0$  - диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума). Биообъект покрыт тонким сферическим слоем толщиной  $h$ , который моделирует слой микроорганизмов. Будем полагать, что слой имеет диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon_2 \varepsilon_0$ , а магнитную проницаемость  $\mu_0$ .

В результате дифракции монохроматического электромагнитного излучения на биообъекте возникает вторичное электромагнитное поле (поле дифракции) с напряженностями  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ . Задача состоит в определении этого поля как внутри так и вне биообъекта.

Поскольку биообъект имеет сферическую симметрию, то будем рассматривать задачу о дифракции в сферической системе координат с началом в центре биообъекта (рис. 1).

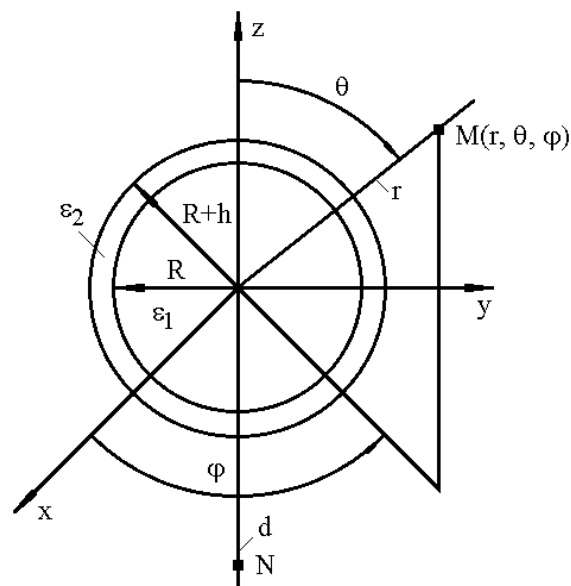


Рис. 1 – Электродинамическая модель яблок со слоем микроорганизмов

Искомое поле дифракции должно удовлетворять внутри поверхности биообъекта со слоем микроорганизмов уравнениям Максвелла [5,6]

$$\begin{aligned} -ik\varepsilon\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_r &= \frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial\theta}(H_\phi\sin\theta) - \frac{\partial H_\theta}{\partial\phi}\right], \\ -ik\varepsilon\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_\theta &= \frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial H_r}{\partial\phi} - \frac{\partial(rH_\phi)}{\partial r}\right], \\ -ik\varepsilon\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_\phi &= \frac{1}{r}\left[\frac{\partial(rH_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial H_r}{\partial\theta}\right], \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
ik\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}H_r &= \frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial\theta}(E_\phi\sin\theta)-\frac{\partial E_\theta}{\partial\phi}\right], \\
ik\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}H_\theta &= \frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial E_r}{\partial\phi}-\frac{\partial(rE_\phi)}{\partial r}\right], \\
ik\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}H_\phi &= \frac{1}{r}\left[\frac{\partial(rE_\theta)}{\partial r}-\frac{\partial E_r}{\partial\theta}\right], \\
\frac{\partial(r^2\varepsilon E_r)}{\partial r} + \frac{r}{\sin\theta}\frac{\partial(\varepsilon E_\phi)}{\partial\phi} + \frac{r}{\sin\theta}\frac{\partial(\sin\theta\varepsilon E_\theta)}{\partial\theta} &= 0, \\
\frac{\partial(r^2H_r)}{\partial r} + \frac{r}{\sin\theta}\frac{\partial(H_\phi)}{\partial\phi} + \frac{r}{\sin\theta}\frac{\partial(\sin\theta H_\theta)}{\partial\theta} &= 0. \quad (3)
\end{aligned}$$

Для формулировки условий непрерывности тангенциальных компонент поля на границах раздела сред введем обозначения:  $\vec{E}_1, \vec{H}_1$  – электромагнитное поле внутри биообъекта;  $\vec{E}_2, \vec{H}_2$  – электромагнитное поле в слое микроорганизмов;  $\vec{E}_3, \vec{H}_3$  – электромагнитное поле вне биообъекта. Тогда условие непрерывности на границе раздела сред примет вид

$$(E_\theta^1 - E_\theta^2)\Big|_{r=R} = 0, (E_\phi^1 - E_\phi^2)\Big|_{r=R} = 0, \quad (4)$$

$$(E_\theta^2 - E_\theta^3 - E_\theta^b)\Big|_{r=R+h} = 0, (E_\phi^2 - E_\phi^3 - E_\phi^b)\Big|_{r=R+h} = 0, \quad (5)$$

$$(H_\theta^2 - H_\theta^3 - H_\theta^b)\Big|_{r=R+h} = 0, (H_\phi^2 - H_\phi^3 - H_\phi^b)\Big|_{r=R+h} = 0,$$

где  $E_\theta^b, E_\phi^b, H_\theta^b, H_\phi^b$  – компоненты возбуждающего поля  $\vec{E}^b, \vec{H}^b$ .

Условия излучения (3) можно представить в следующей форме [5,7], справедливой при  $kr \rightarrow \infty$

$$E_\theta^3 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}H_\phi^3 = F_1(\theta, \phi)\frac{e^{ikr}}{kr}\left[1 + O\left(\frac{1}{kr}\right)\right], \quad (6)$$

$$E_\phi^3 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}H_\theta^3 = F_2(\theta, \phi)\frac{e^{ikr}}{kr}\left[1 + O\left(\frac{1}{kr}\right)\right].$$

Здесь символ  $O\left(\frac{1}{kr}\right)$  обозначает величину

меньшую  $1/kr$  или того же порядка.

Таким образом, задача дифракции волн на биообъекте состоит в определении электромагнитного поля, компоненты  $E_r, E_\theta, E_\phi, H_r, H_\theta, H_\phi$  которого удовлетворяют системе уравнений (1), (2), граничным условиям (4), (5) и условию излучения (6). Для

решения задачи (1)–(5) были использованы потенциалы Дебая [8, 9] и метод разделения переменных в сферической системе координат [10]. Как показано в [8], общее решение системы уравнений (1), (2) можно свести к решению двух скалярных уравнений Гельмгольца для электрического  $U$  и магнитного  $V$  потенциалов Дебая

$$\Delta U_1 + k_1^2 U_1 = 0, \quad \Delta U_2 + k_2^2 U_2 = 0, \quad \Delta U_3 + k^2 U_3 = 0, \quad (7)$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа в сферической системе координат

$$\Delta = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right),$$

$U_1, U_2, U_3$  – электрические потенциалы Дебая.

$U_1$  – описывает поле дифракции внутри биообъекта при  $r < R$ ;  $U_2$  – описывает поле дифракции внутри слоя микроорганизмов при  $R < r < R+h$  и  $U_3$  – описывает поле дифракции вне биообъекта и слоя микроорганизмов при  $r > R+h$ . Тогда компоненты поля дифракции в этих трех областях пространства можно представить в следующем виде

$$E_r^1 = \frac{1}{k_1}\left[\frac{\partial^2(rU_1)}{\partial r^2} + k_1^2 rU_1\right], \quad E_\theta^1 = \frac{1}{k_1 r}\frac{\partial^2(rU_1)}{\partial r\partial\theta},$$

при

$$r < R \quad (8)$$

$$E_\phi^1 = 0, \quad H_r^1 = H_\theta^1 = 0, \quad H_\phi^1 = -\frac{1}{r}\frac{\partial(rU_1)}{\partial\theta},$$

$$E_r^2 = \frac{1}{k_2}\left[\frac{\partial^2(rU_2)}{\partial r^2} + k_2^2 rU_2\right], \quad E_\theta^2 = \frac{1}{k_2 r}\frac{\partial^2(rU_2)}{\partial r\partial\theta},$$

при

$$R < r < R+h \quad (9)$$

$$E_\phi^2 = 0, \quad H_r^2 = H_\theta^2 = 0, \quad H_\phi^2 = -\frac{1}{r}\frac{\partial(rU_2)}{\partial\theta},$$

$$E_r^3 = \frac{1}{k}\left[\frac{\partial^2(rU_3)}{\partial r^2} + k^2 rU_3\right], \quad E_\theta^3 = \frac{1}{k r}\frac{\partial^2(rU_3)}{\partial r\partial\theta},$$

при  $r > R+h$

(10)

$$E_\phi^3 = 0, \quad H_r^3 = H_\theta^3 = 0, \quad H_\phi^3 = -\frac{1}{r}\frac{\partial(rU_3)}{\partial\theta},$$

где

$$k_1 = k\sqrt{\varepsilon_1}, \quad k_2 = k\sqrt{\varepsilon_2}.$$

Итак, исходная векторная задача дифракции сведена к уравнениям Гельмгольца для потенциалов Дебая. Решение этой задачи можно построить с помощью метода разделения переменных. Этот метод состоит в том, что сначала строятся частные решения уравнений (7) представляющие собой произведение функций, каждая из которых зависит только от одной переменной ( $r$  или  $\theta$ ). Такие решения хорошо известны [10] и имеют вид

$$V_n(r, \theta) = P_n(\cos \theta) R_{n+1/2}(k_p r),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \quad p = 1, 2, \quad (11)$$

где  $P_n(\cos \theta)$  – ортонормированные полиномы Лежандра,  $R_{n+1/2}(\dots)$  – цилиндрические функции полуцелого индекса.

С помощью этих частных решений можно построить общие решения уравнений (7) в виде бесконечных рядов по полиномам Лежандра. Эти решения для каждой из трех областей ( $r < R$ ,  $0 < \theta < \pi$ ), ( $R < r < R+h$ ,  $0 < \theta < \pi$ ), ( $r > R+h$ ,  $0 < \theta < \pi$ ) можно представить в виде

$$U_1 = \frac{1}{k_1 r} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+1) a_n \psi_n(k_1 r) P_n(\cos \theta), \quad (12)$$

область  $R < r < R+h$

$$U_2 = \frac{1}{k_2 r} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+1) \times$$

$$\times (b_n \psi_n(k_2 r) + c_n \eta_n(k_2 r)) P_n(\cos \theta), \quad (13)$$

область  $r > R$

$$U_3 = \frac{1}{kr} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+1) d_n \eta_n(kr) P_n(\cos \theta). \quad (14)$$

Интегральный эффект от воздействия возбуждающего поля на слой микроорганизмов можно оценить с помощью усредненной по объему слоя напряженности электрического поля. В результате преобразований для расчёта среднего электрического поля было получено уравнение:

$$E_{cp} = \sqrt{|E_r^{cp}|^2 + |E_{\theta}^{cp}|^2}, \quad (15)$$

где

$$E_r^{cp} = \frac{E_0 e^{ik(d-R-h)}}{k_2 R A_0} [\bar{D}_0 (1 + ik_2 R) + \cos(k_2 R) - k_2 R \sin(k_2 R)], \quad (16)$$

$$E_{\theta}^{cp} = \frac{E_0 e^{ik(d-R-h)}}{4k_2 R A_1} [\sin(k_2 R) - i \bar{D}_1]. \quad (17)$$

$$\bar{D}_0 = \frac{\sin(k_2 R) \cos(k_1 R) - \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \cos(k_2 R) \sin(k_1 R)}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \sin(k_1 R) + i \cos(k_1 R)}, \quad (18)$$

$$\bar{D}_1 = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \cos(k_1 R) \sin(k_2 R) - \cos(k_2 R) \sin(k_1 R)}{i \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \cos(k_1 R) + \sin(k_1 R)}, \quad (19)$$

$$\bar{A}_0 = i \bar{D}_0 e^{ik_2 h} \left( \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} - 1 \right) - i \cos(k_2 (R+h)) -$$

$$- \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} \sin(k_2 (R+h)),$$

$$\bar{A}_1 = i \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} \right) e^{ik_2 h} \bar{D}_1 - \sin(k_2 (R+h)) -$$

$$- \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} \cos(k_2 (R+h)). \quad (21)$$

На основании (15) были проведены численные расчеты величины  $E_{cp}$  нормированной на  $E_0$  – величину напряженности электрического поля возбуждающей сферической волны. В качестве геометрических и электродинамических параметров характеризующих биообъект и слой микроорганизмов были выбраны:  $\varepsilon_1 = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1$ ,  $\varepsilon'_1 = 20$ ,  $\varepsilon''_1 = 5$  – реальная и мнимая части относительной диэлектрической проницаемости биообъекта;

$\varepsilon_2 = \varepsilon'_2 + i\varepsilon''_2$ ,  $\varepsilon'_2 = 10$ ,  $\varepsilon''_2 = 3$  – реальная и мнимая части относительной диэлектрической проницаемости слоя микроорганизмов;  $R = 30$  мм и  $h = 10^{-4}$  мм – соответственно, радиус шара моделирующего биообъект и толщина слоя микроорганизмов. Расчеты проводились в диапазоне частот  $50 \text{ ГГц} \leq f \leq 90 \text{ ГГц}$ . Выбор этого диапазона частот обусловлен тем, что при таких частотах электромагнитное поле возбуждающей волны практически не проникает в середину биообъекта.

На рис. 2. приведены результаты расчетов зависимости величины  $E_{cp}/E_0$  от частоты возбуждающей электромагнитной волны.

Как видно из рис. 2, частотная зависимость среднего поля имеет резонансное поведение. Максимальное значение среднего поля достигается на частоте  $f = 75 \text{ ГГц}$ .

В результате теоретических исследований была решена задача дифракции электромагнитных волн на яблоках с поверхностным слоем грибовых микроорганизмов. Решение задачи было сведено к решению двух уравнений Гельмгольца для потенциалов Дебая. В результате данных исследований было установлено, что для уничтожения грибовых микроорганизмов на поверхности яблок следует использовать электромагнитное излучение с частотой 75 ГГц.

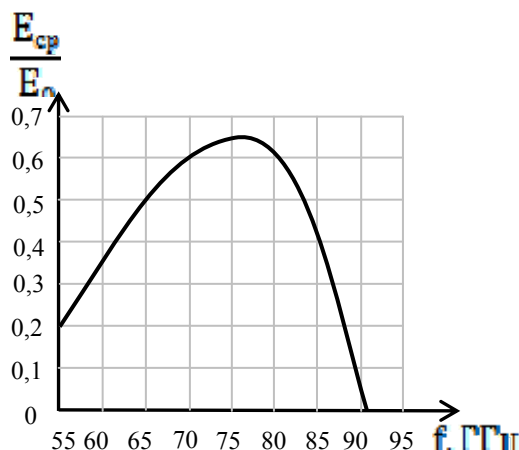


Рис. 2 – Зависимость нормированной средней напряжённости электрического поля от частоты возбуждающей волны

### Выводы

1. Для установления диапазона изменений биотропных параметров ЭМП (частота, мощность, экспозиция) необходимых для уничтожения микроорганизмов на поверхности яблок следует использовать модель в виде шара, который покрыт тонким сферическим слоем с микроорганизмами.

2. Уничтожение микроорганизмов на поверхности яблок следует проводить с использованием электромагнитного излучения в диапазоне частот 73–77 ГГц.

### Список литературы:

1. Федюшко, Ю. М. Аналіз технологій зберігання фруктоплодів [Текст] / Ю. М. Федюшко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2016. – № 175. – С. 160–161.
2. Каширская, Н. Я. Болезни семечковых культур [Текст] / Н. Я. Каширская. – Мичуринск, 2006. – 164 с.
3. Гудковский, В. А. Прогрессивные технологии хранения плодов [Текст] / В. А. Гудковский, А. А. Кладь, Л. В. Кожина, А. Е. Балакирев, Ю. Б. Назаров // Достижения науки и техники. АПК. – 2009. – № 2. – С. 66–68.
4. Федюшко, Ю. М. Біофізичні передумови для знищення шкідливих мікроорганізмів на плодах яблуні електромагнітною енергією [Текст] / Ю. М. Федюшко, А. Д. Черенков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК

України». – 2016. – № 176. – С. 93–94.

5. Семенов, А. А. Теория электромагнитных волн [Текст] / А. А. Семенов. – М.: МГУ, 1962. – 256 с.
6. Konstantinov, I. S. Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals [Text] / I. S. Konstantinov, A. V. Mamatov, V. A. Sapryka, A. D. Cherenkov, A. V. Sapryka, N. G. Kosulina // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – № 6 (6). – P. 1686–1694.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
8. Иванов, Е. А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах [Текст] / Е. А. Иванов. – Минск: Наука и техника, 1968. – 584 с.
9. Konstantinov, I. S. Decision algoritm of near-field microwave sounding [Text] / I. S. Konstantinov, A. V. Mamatov, V. A. Sapryka, A. D. Cherenkov, A. V. Sapryka, A. E. Poedinchuk // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. – P. 45186–45189.
10. Вайнштейн, Л. А. Электромагнитные волны [Текст] / Л. А. Вайнштейн. – Радио и связь, 1988. – 440 с.

### Bibliography (transliterated):

1. Fediushko, Yu. M. (2016). Analiz tekhnologii zberihannia fruktoplodiv. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka «Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy», 175, 160–161.
2. Kashirskaja, N. Ja. (2006). Bolezni semechkovykh kul'tur. Michurinsk, 164.
3. Gudkovskij, V. A., Klad', A. A., Kozhina, L. V., Balakirev, A. E., Nazarov, Ju. B. (2009). Progressivnye tehnologii hraniennia plodov. Dostizhenija nauki i tehniki. APK, 2, 66–68.
4. Fediushko, Yu. M., Cherenkov, A. D. (2016). Biofizichni peredumovy dlia znyshchennia shkidlyvykh mikroorhanizmiv na plodakh yabluon elektromagnitnoiu enerhiieiu. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka «Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy», 176, 93–94.
5. Semenov, A. A. (1962). Teoriya jelektromagnitnykh voln. Moscow: MGU, 256.
6. Konstantinov, I. S., Mamatov, A. V., Sapryka, V. A., Cherenkov, A. D., Sapryka, A. V., Kosulina, N. G. (2015). Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals. Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 6 (6), 1686–1694.
7. Korn, G., Korn, T. (1974). Spravochnik po matematike dlja nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Moscow: Nauka, 832.
8. Ivanov, E. A. (1968). Difrakcija jelektromagnitnykh voln na dvuh telakh. Minsk: Nauka i tehnika, 584.
9. Konstantinov, I. S., Mamatov, A. V., Sapryka, V. A., Cherenkov, A. D., Sapryka, A. V., Poedinchuk, A. E. (2015). Decision algoritm of near-field microwave sounding. International Journal of Applied Engineering Research, 10, 45186–45189.
10. Vajnshtejn, L. A. (1988). Jelektromagnitnye volny. Radio i svjaz', 440.

Поступила (received) 18.04.2017

### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Аналіз розподілу електричного поля на поверхні яблук со шаром мікроорганізмів/ А. Ю. Федюшко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 16(1238). – С. 141–145. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Аналіз розподілу електричного поля на поверхні яблук з шаром мікроорганізмів/ О. Ю. Федюшко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 16(1238). – С. 141–145. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Analysis of the distribution of the electric field on the surface of apples with a layer of microorganisms/ A. Fedyushko** // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238). – P. 141–145. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Федюшко Олександр Юрійович** – аспірант Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: tte\_nniekt@ukr.net.

**Федюшко Олександр Юрійович** – аспірант Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, вул. Алчевських, 44, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: tte\_nniekt@ukr.net.

**Fedyushko Alexander** – postgraduate student, Kharkov National Technical University of Agriculture of P. Vasilenko, str. Alchevsky, 44, Kharkiv, Ukraine, 61002; e-mail: tte\_nniekt@ukr.net.