

УДК 621.374

Оленюк О.А.¹

канд. техн. наук, асистент

E-mail: alexander olenyuk@gmail.com**Ткач О.В.¹**

канд. техн. наук, доцент

E-mail: oleg.v.tkach@gmail.com¹Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ КВЧ ДІАПАЗОНУ НА НАСІННЯ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН

Анотація

У сучасних умовах для збільшення врожайності культурних рослин використовують передпосівний обробіток насіння з використанням хімічних і біологічних препаратів. У зв'язку з орієнтацією передових країн світу на екологічно безпечні технології виробництва сільськогосподарської продукції все більше уваги приділяється розвитку електротехнологічним методам обробки. Головна перевага електромагнітної технології по передпосівній обробці насіння низькоенергетичним випромінюванням КВЧ діапазону полягає в можливості поліпшення їх зростання і розвитку за рахунок мобілізації внутрішніх резервів самого насіння, пришвидшення дифузії молекул через клітинну мембрану, швидкості хімічних реакцій та викликає збільшення волого поглинання, що в свою чергу прискорює розвиток рослини і сприяє підвищенню врожайності без хімічних або біологічних препаратів або методів генної інженерії. Технологія обробки насіння ЕМП КВЧ дозволяє зберегти в насінні всі поживні речовини, вітаміни та мінерали, що при обробці іншими методами домогтися досить складно.

Дослідження спирається на аналіз літературних джерел та експериментальні дослідження енергетичних і спектральних характеристик діодного генератора в КВЧ діапазоні довжин хвиль, судячи з яких можна зробити висновок, що підвищення врожайності рослин можливо на основі застосування інформаційного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону для передпосівної обробки насіння.

У статті пропонується методика дослідження енергетичних характеристик напівпровідникового шестидіодного генератора на лавинно-пролітних діодах для передпосівної обробки насіння культурних рослин. Результатом розробленої методики слідує висновок, що одним з основних елементів установки для передпосівної обробки насіння є випромінювач ЕМ енергії, який повинен сформулювати необхідну діаграму спрямованості і забезпечити достатній рівень щільності потоку потужності на зерні.

Ключові слова: передпосівна обробка насіння; електромагнітне випромінювання; крайвисокочастотний діапазон; характеристики діодного генератора.

Вступ. У зв'язку з орієнтацією передових країн світу на екологічно безпечні технології виробництва сільськогосподарської продукції все більше уваги приділяється розвитку електротехнологічним методам обробки, одним з яких є передпосівна обробка насіння електромагнітними полями різного діапазону [1].

Відомо, що при обробці насіння сільськогосподарських культур електромагнітними випромінюваннями різної потужності та інтенсивності можна одержати позитивні результати. Позитивний ефект впливу спостерігається у досить широкому діапазоні частот електромагнітного поля від статичного (квазістатичного) електричного поля до електромагнітного випромінювання оптичного і більш високочастотного діапазону [2, 3].

З серед електромагнітних випромінювань позитивний вплив на схожість і ріст рослини має електромагнітне поле в діапазоні частот 50...300 ГГц, що дозволяє зменшити час вегетації і збільшити врожайність культур. Технологія обробки насіння ЕМП КВЧ дозволяє зберегти в насінні всі поживні речовини, вітаміни та мінерали, що при обробці іншими методами домогтися досить складно.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Світові дослідження по впливу електромагнітного поля КВЧ діапазону на насіння культурних рослин показують, що вони можуть стимулювати ріст і розвиток рослин. Нині українськими та закордонними вченими, такими як А.М. Басов, О.М. Берека, А. Д. Черенков, І.Ф. Бородін, Г.Б. Іноземцев, В.І. Міщенко, Л.Є. Нікіфорова, В.А. Окушко, Л.Г. Прищеп, Л.С. Червінський, А.І. Чміль та багато інших, виконані науково-дослідні роботи з обробки насіння різних сільськогосподарських культур в електромагнітному полі [1].

Обробка насіння відбувається в результаті поглинання оброблювального матеріалу енергії електромагнітних хвиль надвисокої частоти. На відміну від традиційних методів теплової обробки сільськогосподарської продукції, НВЧ енергія нагріває насіння, проникає і рівномірно розповсюджується по всьому об'єму матеріалу. Також встановлено що магнітне поле пришвидшує дифузії молекул через клітинну мембрану, в тому числі кисню [4]. Підвищення проникності клітинних мембран і швидкості хімічних реакцій при обробці ЕМП КВЧ викликає збільшення волого поглинання, що в свою чергу прискорює розвиток рослини і сприяє підвищенню врожайності [5].

Для генерування і посилення електромагнітних коливань в КВЧ діапазоні довжин хвиль застосовуються електровакуумні прилади ЛБХ, ЛЗХ, клінорони, клістроли і магнетрони. Проведений аналіз показує, що пристроям з електровакуумних приладів притаманні суттєві недоліки: великі об'ємно-масові характеристики, високовольні джерела живлення, системи рідинного і повітряного охолодження, нестабільність частоти в межах 10^{-3} [6, 7]. Для промислових цілей, пов'язаних з передпосівною обробкою насіння в безперервному потоці, необхідні діодні генератори в КВЧ діапазоні з вихідною потужністю до 2 Вт і відносною нестабільністю частоти $10^{-6}...10^{-7}$ [8].

Аналіз серійно випускаємих генераторів КВЧ діапазонів для передпосівної обробки насіння показує, що в КВЧ діапазоні широке застосування знаходять напівпровідникові генератори на лавинно-пролітних діодах (ЛПД), які за більшістю електричних (малі напруги і струми) і експлуатаційних параметрів (габарити, вага, надійність) перевершують електровакуумні прилади від 30 до 300 ГГц [9, 10]. Експлуатаційні характеристики генераторів на ЛПД (вихідна потужність, частота, ККД, діапазон перестроювання, стабільність частоти, якість спектру), а також режим роботи залежить не тільки від параметрів ЛПД, але й типу резонансної системи. Для отримання потужності величиною 2000 ... 3000 мВт в діапазоні частот 50 ... 300 ГГц в генераторі на ЛПД необхідно використовувати метод складання потужностей на єдине навантаження, у якості якого слід застосовувати електродинамічні системи квазіоптичного типу [11].

Метою дійсної публікації були теоретичні та експериментальні дослідження енергетичних і спектральних характеристик діодного генератора в КВЧ діапазоні довжин хвиль.

Методологія дослідження. Дослідження по впливу ЕМП КВЧ на насіння культурних рослин проводились на лабораторній установці в якій в якості генератора електромагнітних хвиль використано шестидіодний генератора на лавинно-пролітних діодах (рис. 1). Для передпосівної обробки насіння низькоенергетичним електромагнітним випромінюванням необхідні джерела з параметрами: частота 72 ... 76 ГГц; вихідна потужність 1,5 ... 1,6 Вт; відносна нестабільність частоти $10^{-6} ... 10^{-7}$. Отримання такої потужності можливо на шести діодах типу 2A762A шляхом

підсумовування їх потужності на основі відкритого бочкоподібного резонатора [12].

На рис. 1 показана конструкція шестидіодного генератора на ЛПД з відкритим бочкоподібним резонатором.

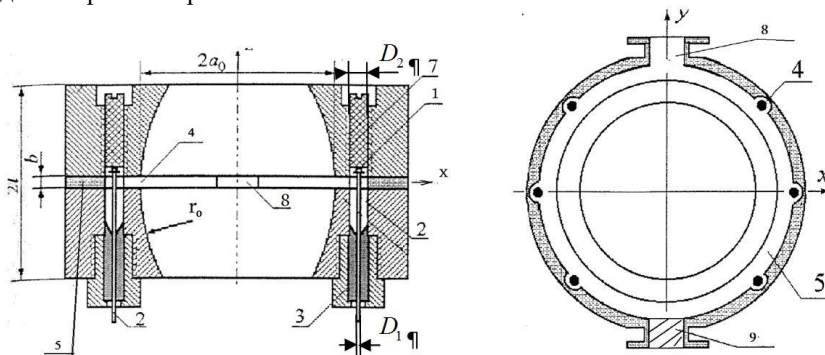


Рис. 1. Конструкція шестидіодного генератора міліметрового діапазону

Відкритий бочкоподібний резонатор з геометричними параметрами $a_0=20$ мм, $r_0=120$ мм, $L=20$ мм виготовлений з латуні і складається з двох половин. Знімне кільце (5) затиснуто між ними. Зміни розмірів кільця дозволяють змінювати ширину a і висоту b хвилеводного поглиблення в центральній площині ОБР. Вивід НВЧ-енергії з резонатора здійснюється за допомогою прямокутної щілини зв'язку (8) перерізом $3,6 \times 0,18$ мм. Струм живлення до кожного діода підводився з допомогою низкоомного коаксіалу (6). Завдяки такій конструкції генератора вдалося здійснити роздільне живлення кожного діода і рівномірно розподілити теплове навантаження. У конструкції є декілька відрізків коаксіальних ліній (2), пов'язаних з поглибленням в резонаторі (4). У торці цих відрізків включаються діоди 2A762A (1). Відрізок коаксіалу має поглинач (3), необхідний для усунення паразитних коливань. Узгодження імпедансів діодів з імпедансом коливальної системи ОБР здійснюється, в діапазоні частот 72 ... 76 ГГц, шляхом переміщення діода мікровинтом (7), за рахунок зміни фази коефіцієнта стоячої хвилі в місці включення діодів. До діодів подаються струми живлення 12 В. Струми живлення створюють негативний опір в робочій точці вольт-амперної характеристики діода на робочій частоті 72 ... 76 ГГц.

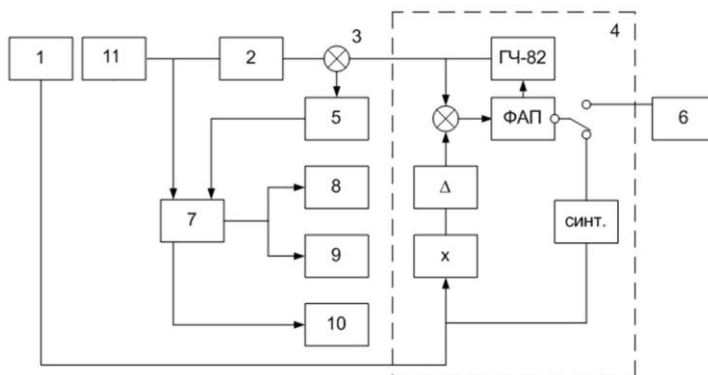


Рис. 2. Структурна схема стенду для дослідження ГЛПД з суматором на основі ОБР:

1 - високостабільний генератор 10 МГц (еталон); 2 - досліджуваний генератор; 3 - змішувач-помножувач; 4 - опорний генератор; 5 - ППЧ; 6 - синтезатор 4-31; 7 - компаратор фазовий Ч7-42; 8, 9 - аналізатори спектру СЧ -48 і СЧ -29; 10 - ЕЛЧ з ПЕОМ; 11 - вимірювач потужності.

Зміна частоти генератора в діапазоні (72 ... 76 ГГц) здійснюється зміною струму живлення на одному з діодів. У конструкції шестидіодного генератора були використані елементи з розмірами (рис. 1) $a_0=20$ мм, $r_0=120$ мм, $L=20$ мм; радіус внутрішньої каустики $r_m=9$ мм; координати зовнішньої каустики $Z_{q=1}=5,7$ мм; $D_1=1$ мм; $D_2=1$ мм. Використана структурна схема вимірювання основних точносних характеристик (дискретність перестроювання, нестабільність частоти, ступінь придушення дискретних складових у спектрі вихідного сигналу) представлена на рис. 2.

Результати. В результаті проведених досліджень на рис. 3 наведено отриману ділянку спектра ОБР для діапазону частот 71 ... 76 ГГц.

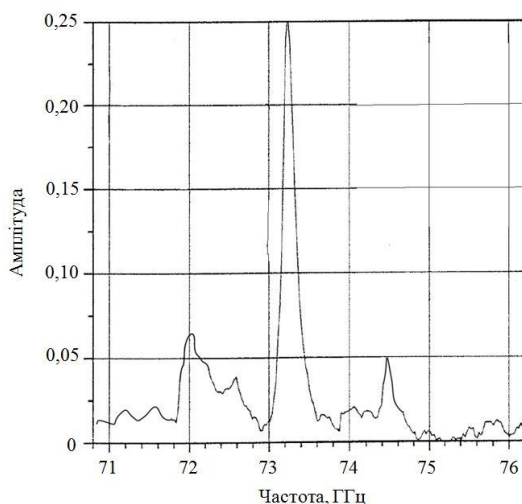


Рис. 3. Ділянки спектру ОБР

Як випливає з результатів вимірювання (рис. 3) основним типом коливань в даній резонансній системі є TM_{1531} , а однією резонансною частотою є частота 73,3 ГГц. Навантажена добротність такого коливання в ОБР, виміряна частотним методом на частоті 73,3 ГГц становила 2000 одиниць. На рис. 4 наведено експериментальну залежність складання потужностей при кількості діодів $N=6$.

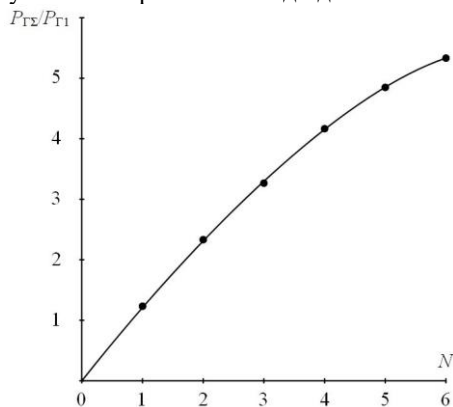


Рис. 4. Експериментальна характеристика складання потужностей ЛПД від числа діодів N :

- $P_{ГΣ}$ – сумарна потужність бти секцій;- $P_{Г1}$ – потужність однієї діодної секції.

Із залежності (рис. 4) видно відхилення сумарної потужності від лінійного закону і зростання втрат на додавання з збільшенням. У даній конструкції чотирьохдіодного суматора потужності на частоті 73,3 ГГц отримана потужність 1575 мВт при ККД підсумовування $\eta=80\%$.

Експериментальна перевірка електронної зміни частоти генерації наведена на рис. 5.

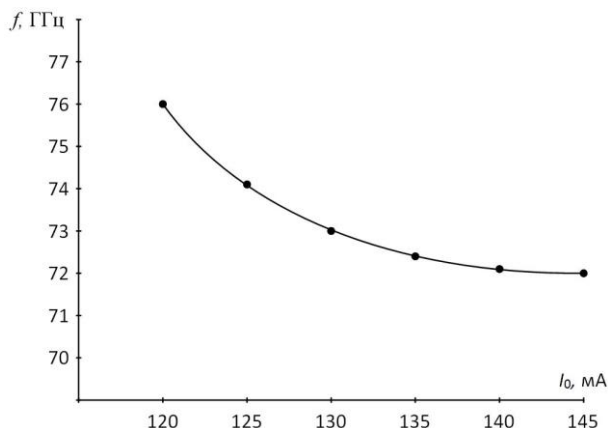


Рис. 5. Залежність електронного перестроювання частоти генератора від величини струму одного з діодів

Залежність електронного перестроювання частоти генератора показує (рис. 5), що крутизна електронного перестроювання становить 160 МГц/мА для діапазону частот 72 ... 76 ГГц.

Результати вимірювань відносної нестабільності частоти шестидіодного на ЛПД генератора представлена на рис. 6.

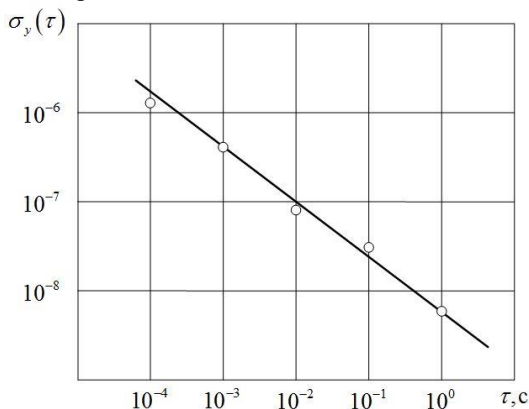


Рис. 6. Залежність відносної нестабільності частоти чотирьохдіодного на ЛПД генератора від часу вимірювання

Як впливає з отриманих результатів (рис. 6), короточасна нестабільність частоти генератора становить 10^{-6} , довготривала 10^{-9} , а ступінь заглушення дискретних складових у спектрі вихідного сигналу склала 48 дБ.

Висновки і перспективи. Аналіз проведених досліджень вказує на те, що для передпосівної обробки насіння слід використовувати діодний генератор з параметрами:

- Діапазон робочих частот 72 ... 76 ГГц;
- Короткочасна відносна нестабільність частоти 10^{-6} ;
- Вихідна потужність 1570 мВт;
- Крутизна електронного перестроювання 160 МГц/мА.

Список використаних джерел

1. Іноземцев Г. Б., Берека О. М., Окушко О. В., Усенко С. М. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції / за ред. Г. Б. Іноземцева. Київ : ЦП "КОМПРИНТ", 2015. 306 с.
2. Нікіфорова Л. Є. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозбереження в АПК України*. 2004. Вип. 27. Т.2. С. 85–89.
3. Черенков А. Д., Косулина Н. Г. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2005. № 5. С. 77–80.
4. Козырський В. В., Савченко В. В., Синявський А. Ю. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур. *Вестник ВИЭСХ*. 2014. № 2 (15). С. 16–19.
5. Козирський В. В., Савченко В. В., Синявський О. Ю. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння *Науковий вісник НУБіП України*. 2014. Вип. 194. Ч. 1. С. 16–20.
6. Granatstain V., Parkekr R., Armstrong C. Vacuum electronics at the dawn of the twenty-first century. *Proc. IEEE*. 1999. V. 87, №5. P. 702–716.
7. Freund, H. P., Neil G. R. Free-electron lasers: vacuum electronic generators of coherent radiation. *Proceeding of the IEEE*. 1999. V. 87, № 5. P. 782–803.
8. Parker, R., Abrams R., Danly B., Levush B. Vacuum Electronics. *IEEE Transactions on MTT*. 2002. V. 50, № 3. P. 835–845.
9. Электривакуумные приборы диапазона миллиметровых волн / Л. В. Касаткин и др. Севастополь : Вебер, 2007. 252 с.
10. Оленюк, О. А., Кроль, В. О., Морозов, В. В. Аналіз серійно випускаємих генераторів КВЧ діапазонів для передпосівної обробки насіння. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XVIII міжнар наук. конф. (м. Тернопіль, 16-18 жовт. 2017 р.)*. Тернопіль, 2017. С. 160–161.
11. Касаткин Л. В., Чайка В. Е. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн. Севастополь : Вебер, 2006. 319 с.
12. Оленюк, А.А. Определение резонансной частоты ЭМП для воздействия на семена сферической формы. *Вестник «ХПИ»*. 2013. №66 (972). С. 173–177.

Дата надходження статті до редакції : 26.01.2020
I рецензування 14.02.2020 Прийняття в друк: 20.04.2020

Olenyuk O.A.¹

Ph.D. (Techn.), Assistant Lecturer
E-mail: alexander olenyuk@gmail.com

Tkach O.V.¹

Ph.D. (Techn.), Associate professor
E-mail: oleg.v.tkach@gmail.com

¹*State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

RESEARCH ON THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELD OF EHF BAND ON SEEDS OF CULTURAL PLANTS

Abstract

In modern conditions, to increase the yield of cultivated plants use pre-sowing seeds with the use of chemical and biological products. Due to the orientation of the world's leading countries on environmentally friendly agricultural production technologies, more and more attention is being paid to the development of electro-technological processing methods. The main advantage of electromagnetic technology for pre-sowing seed treatment with low-energy radiation of the EHF range is the possibility of improving their growth and development by mobilizing the internal reserves of the seed itself, accelerating the diffusion of molecules through the cell membrane, the speed of chemical reactions and causing redness plants and promotes yield without chemical or biological agents or genetic engineering methods. The technology of seed treatment EMF EHF allows to store in the seed all the nutrients, vitamins and minerals, which when processed by other methods is difficult to achieve.

The study is based on the analysis of literature, theoretical and experimental studies of the energy and spectral characteristics of the diode generator in the EHF wavelength range, which can be concluded that the increase in plant yields is possible based on the use of millimeter-wave electromagnetic radiation for pre-sowing seed treatment.

The article proposes a technique for investigating the energy characteristics of a semiconductor six-diode generator on avalanche-spanning diodes for pre-sowing seed treatment of cultivated plants.

The result of the developed technique is that one of the main elements of the plant for pre-sowing seed treatment is the emitter of EM energy, which should form the necessary radiation pattern and provide a sufficient level of power flow density on the grain.

Keywords: seed dressing; electromagnetic radiation; the range of extremely; diode characteristics of the generator.

References

1. Inozemtsev, G. B., Berka, O. M., Okushko, O. V., & Usenko, S. M. (2015). *Elektrotekhnologii obrobky silskohospodarskoi produktsii [Electrotechnology of processing of agricultural products]*. Kyiv: Kompyrnt. [in Ukrainian].
2. Nykyforova, L. E. (2004). Ohliad isnuichykh sposobiv pidvyshchennia vrozhaivosti ovochevoi produktsii v zakhyshchenomu grunti [Overview of existing ways to increase the yield of vegetable products in protected soil]. *Visnyk Kharkivskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva. Problemy enerhozberezhennia v APK Ukrainy [Journal of Kharkiv State Technical University of Agriculture. «Problems of Energy Saving in the Agrarian and Industrial Complex of Ukraine»]*, 27(2), 85–89. [in Ukrainian].
3. Tsherenkov, A. D., & Kosulina, N. G. (2005). Primenenie informatsionnykh jelektromagnitnykh polej v tehnologicheskikh processah sel'skogo hazhajstva [Use of the informational electromagnetic fields in the technological process of Agriculture]. *Lighting technology and electrical power engineering. Svitlotekhnika ta elektroenergetika*, 5, 77–80.
4. Kozyrsky, V. V., Savchenko, V. V., & Sinyavsky, A. Y. (2014). Vlijanie magnitnogo polja na diffuziju molekul cherez kletochnuju membranu semjan sel'skohozhajstvennykh kul'tur [The influence of the magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of seeds of agricultural crops]. *Vestnik VIJESH*, 2 (15), 16–19. [in Ukrainian].
5. Kozyrsky, V. V., Savchenko, V. V., & Sinyavsky, O. Y. (2014). Vplyv mahnitnogo polia na vodopohlynannia nasinnia [Influence of magnetic field on water absorption of seeds]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy]*, 194(1), 16–20. [in Ukrainian].
6. Granatstein, V., Parker, R., & Armstrong, C. (1999). Vacuum electronics at the dawn of the twenty-first century. *Proceedings of the IEEE*, 87(5), 702–716.
7. Freund, H., & Neil, G. (1999). Free-electron lasers: Vacuum electronic generators of coherent radiation. *Proceedings of the IEEE*, 87(5), 782–803.
8. Parker, R., Abrams, R., Danly, B., & Levush, B. (2002). Vacuum electronics. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(3), 835–845.
9. Kasatkin, L. V., Rukin, V. P., & Eremka, V. D. (2007). *Jelektrovakuumnye pribory diapazona millimetrovnykh voln [Electrovacuum devices of millimeter wave]*. Sevastopol: Veber. [in Russian].
10. Olenyuk, O., Krol, V., & Morozov, V. (2017). Analysis of serially released ehf band generators for pre-sowing treatment of seeds. *Modern problems of agricultural mechanics: Proceedings of the XVIII International Science. Conf. (pp/ 160–161)*. [in Ukrainian].

11. Kasatkin, L. V., & Chajka, V. E. (2006). *Poluprovodnikovye ustrojstva diapazona millimetrovyyh voln [Semiconductor devices of millimeter wave]*. Sevastopol: Veber. [in Russian].

12. Olenyuk, O.A. (2013). Opredeleniye rezonansnoy chastoty emp dlya vozdeystviya na semena sfericheskoy formy [Determination of the resonant frequency of EMF for exposure to seeds of a spherical shape]. *Journal of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 66 (972), 173–177. [in Russian].

Received: 01/26/2020

1st Revision: 02/14/2020 Accepted: 04/20/2020