

УДК 537.868

**Оленюк О.А.**  
к.т.н., асистент  
**Оленюк А.М.**  
к.с.г.н., доцент

кафедра ремонту машин та енергообладнання  
Інженерно-технічний факультет  
Подільський державний аграрно-технічний університет  
Кам'янець-Подільський, Україна  
**Email:** [unicorn.ua@gmail.com](mailto:unicorn.ua@gmail.com)

## АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА АНТЕННИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ В БЕЗПЕРЕРВНОМУ ПОТОЦІ

Для електромагнітної технології передпосівної обробки насіння необхідні джерела КВЧ коливань із високими вимогами з спектрально-флуктуаційними та енергетичними характеристиками.

У статті пропонується можливість створення необхідних джерел на основі лавинно-пролітних діодів. Дослідження спирається на аналіз літературних джерел, судячи з яких можна зробити висновок, що у КВЧ діапазоні найбільшого поширення набули хвилеводні резонатори, так як в цьому діапазоні їх добротність вище, ніж у коаксіальних та полоскових. На практиці широко використовуються хвилеводно-штирьовий і радіально-хвилеводний резонатори.

В КВЧ діапазоні довжин хвиль широко застосовуються різні типи антен, основні з яких: хвилеводно-щільні, антени поверхневих хвиль та рупорні. Результатом розробленої методики слідує, що одним з основних елементів установки для передпосівної обробки насіння є випромінювач ЕМ енергії, який повинен сформувавши необхідну діаграму спрямованості і забезпечити достатній рівень щільності потоку потужності на зерні при русі конвеєрної стрічки.

**Ключові слова:** електромагнітна технологія, випромінювання, антени, генератори, коливання.

**Вступ.** Актуальним завданням на даний час є розробка нових економічних, ефективних і екологічно безпечних технологій, спрямованих на підвищення врожайності.

Одним із шляхів вирішення даної задачі є використання низькоенергетичного (інформаційного) ЕМП КВЧ діапазону. Застосування інформаційних ЕМП в рослинництві пов'язано з найменшими витратами енергії при максимальному впливі на інформаційні процеси життєдіяльності біологічних об'єктів, які залежать не від величини енергії впливає випромінювання, а від відповідних частотних і модуляційно-часових параметрів ЕМП. Однак бажані зміни властивостей біологічних об'єктів можуть бути отримані тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів ЕМП (частота, щільність потоку потужності, експозиція, модуляція і ін.).

Біологічна дія ЕМВ КВЧ діапазону пов'язано з використанням високостабільних по частоті генераторів і з високими вимогами по спектрально-флуктуаційним характеристикам.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз серійно-випускаємих генераторів КВЧ діапазонів за такими параметрами, як нестабільність частоти, похибка установки вихідної частоти, діапазон перебудови показав, що вони не можуть бути використані в біомагнітології [1-2].

Генератори, що випускаються в Росії і Литві, можуть працювати в діапазоні частот

20...80 ГГц, але мають високу відносну нестабільність вихідної частоти ( $10^{-3}$ ... $10^{-4}$ ), низьку монохроматичність сигналу і малу вихідну потужність (4...5 мВт).

Генератори, що випускаються за кордоном, мають меншу нестабільність частоти ( $10^{-5}$ ), але малу вихідну потужність (до 5 мВт). В даний час для генерування і посилення електромагнітних коливань в КВЧ діапазоні довжин хвиль застосовуються електровакуумні прилади ЛБХ, ЛОВ, клілотрони, клістрони і магнетрони [3 - 9]. Проведений аналіз показує, що пристроям з електровакуумними приладами притаманні суттєві недоліки: великі об'ємно-масові характеристики, високовольтні джерела живлення, системи рідинного і повітряного охолодження, нестабільність частоти в межах  $10^{-3}$ .

Аналіз сучасної напівпровідникової техніки показує, що в КВЧ діапазоні широке застосування знаходять напівпровідникові генератори на ЛПД, які за більшістю електричних (малі напруги і струми) і експлуатаційних параметрів (габарити, вага, надійність) перевершують електровакуумні прилади [8, 9].

Генеруєма потужність ЛПД становить від 500 до 2000 мВт в діапазоні частот від 30 до 300 ГГц [10]. Експлуатаційні характеристики генераторів на ЛПД (вихідна потужність, частота, ККД, діапазон перебудови, стабільність частоти, якість спектру), а також режим роботи залежить не тільки від параметрів ЛПД, але і типу резонансної системи [9]. У КВЧ діапазоні найбільшого поширення набули хвилеводні резонатори, так як в цьому діапазоні їх добротність вище, ніж у коаксіальних та полоскових. На практиці широко використовуються хвилеводно-штирьовий і радіально-хвилеводний резонатори. Вихідна потужність генераторів з радіально-хвилеводною конструкцією може становити від 630 мВт до 250 мВт в діапазоні частот від 50 ГГц до 80 ГГц з ККД 10% і перебудовою частоти 10...15% [9]. 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, в якості якого слід застосовувати електродинамічні системи квазіоптичного типу.

**Мета.** Одним з основних елементів установки для передпосівної обробки насіння є випромінювач електромагнітної енергії, який повинен сформувати необхідну діаграму спрямованості і забезпечити достатній рівень щільності потоку потужності на зерні під час руху конвеєрної стрічки.

**Методологія.** На сьогоднішній день в КВЧ діапазоні довжин хвиль широко застосовуються різні типи антен: хвилеводно-щілинні, антени поверхневих хвиль, рупорні і ін. [10 - 13].

Хвилеводно-щілинні антени, що утворюються при прорізуванні щілин в хвилеведучих системах, є одним з видів лінійних багатоелементних антен. Вони забезпечують звуження діаграми спрямованості (ДС) в площині, що проходить через вісь хвилеводу. Розрізняють антени резонансні, нерезонансні і антени з узгодженими щілинами. Для антен першого типу відстань між сусідніми щілинами  $d$  дорівнює хвилеводній довжині хвилі ( $\lambda_g$ ). Для нерезонансних хвилеводно-щілинних антен вибирається  $d < \lambda_g/2$ , або  $d < \lambda/2$ . У антенах з узгодженими щілинами кожна щілина окремо узгоджується з хвилеводом за допомогою реактивного вібратора або діафрагми. У загальному випадку довжина щілин дорівнює  $\lambda/2$  ( $\lambda$  - довжина хвилі у вільному просторі), а їх ширина  $d_1 = (0,05...0,1)\lambda$ . Звідси стає зрозумілим, що застосування подібного типу антен в діапазоні довжин хвиль  $< 7$  мм досить проблематично. Тут необхідно зауважити, що поперечний переріз одномодового прямокутника хвилеводу в цьому діапазоні складає 3,6x1,8 мм. Крім того, загальним недоліком хвилеводно-щілинних антен є обмеженість діапазонних властивостей. При зміні частоти в такій антені, що може мати місце в разі використання, не стабілізованого за частотою джерела СВЧ коливань, відбувається

відхилення ДС в просторі від заданого напрямку, що супроводжується зміною її ширини та узгодження з живильним хвилеводом. Таким чином, використання подібного типу антен для цілей опромінення насіння овочевих культур недоцільно.

Розглянемо антени поверхневих хвиль. До цього класу належать антени з уповільненою фазовою швидкістю ( $V_\phi < C$ ). Антени такого виду розрізняють по уповільнюючій структурі. Відмінною ознакою хвилі з  $V_\phi < C$  є спадання амплітуди поля хвилі при віддаленні від сповільнюючої структури за експоненціальним законом. Причому швидкість убуття тим швидше, чим більше уповільнення хвилі. Тому характерною особливістю таких антен є їх малі поперечні розміри. В якості плоских уповільнюючих систем використовуються гребенчаті структури і структури у вигляді тонкого шару діелектрика на металевій підкладці. Якщо розглянути гребінку в якості уповільнюючої структури, то для неї повинні бути виконані такі умови: період  $D \leq 0,1\lambda$ ; глибина канавок  $h$  повинна бути менше  $\lambda/4$ . Звідси стає зрозумілим, які геометричні розміри повинна мати гребінка в чотирьохміліметровому діапазоні довжин хвиль і скільки буде коштувати її виготовлення. З іншого боку, необхідно забезпечити ефективне збудження уповільнюючої структури без появи вищих типів хвиль і відбиття. До недоліків антен поверхневих хвиль слід віднести порівняно мале реалізоване посилення і відносно високий рівень бічних пелюсток. На підставі цього можна зробити висновок, що застосування антен подібного типу нераціонально.

Третім типом антен є рупорні випромінювачі. Хвилеводно-рупорні антени, на відміну від розглянутих вище, є широкосмуговими пристроями і забезпечують приблизно полуторное перекриття по діапазону. Вони прості у виготовленні. У загальному випадку рупор є трансформатором хвилі, що розповсюджується по підвідному хвилеводу, в хвилю іншого типу. Відбувається перетворення плоскої хвилі малих розмірів в поперечному перерізі хвилеводу в приблизно плоску хвилю значних розмірів в розкритті рупора. Крім того, завдяки плавній зміні хвильового опору вздовж рупора, забезпечується узгодження хвилеводу з вільним простором. Завдяки чому зменшується відбиття від розкриття. Розрізняють конічні, пірамідальні і секторіальні випромінювачі. Конічні рупорні антени будуються на базі круглого хвилеводу, через який поширюється основна хвилеводна хвиля  $TE_{11}$ . Вони мають ряд недоліків: площа поляризації поля у таких антен нестійка і легко змінюється навіть при незначних деформаціях стін; поле в розкритті такого випромінювача поляризоване неоднаково в різних точках. Крім того, ДС таких антен мають приблизно осьову симетрію. А оскільки нам необхідно забезпечити лінійну поляризацію випромінюючого поля в місці розташування насіння овочевих культур і при цьому ширина ДС в напрямку їх руху повинна бути значно вужче, ніж в перпендикулярному напрямку, то зупинимося на пірамідальних і секторіальних рупорних антенах. Випромінювачі подібного типу будуються на базі прямокутних хвилеведучих систем.

**Результати.** Так як антени першого типу використовуються, як правило, для отримання вузької ДС в двох взаємно-перпендикулярних площинах за рахунок збільшення поперечних розмірів розкриття рупора, то найбільш прийнятними для вирішення завдання по опроміненню насіння представляються секторіальні рупорні випромінювачі.

У загальному випадку секторіальним називається такий рупор, у якого збільшується тільки один розмір поперечного перерізу прямокутного хвилеводу, а другий залишається незмінним. У зв'язку з цим розрізняють  $H$ -секторіальний рупор, з розширенням в площині вектора  $H$  основної хвилеводної хвилі  $TE_{10}$  і  $E$ -секторіальний рупор, з розширенням в площині вектора  $E$ . А оскільки коефіцієнт відображення хвилеводної хвилі  $TE_{10}$  від зчленування хвилеводу з  $H$ -секторіальним рупором менше,

ніж в разі *E*-секторіального рупора, то слід розглядати випромінювач з розширенням в площині вектора *H* для передпосівної обробки насіння в безперервному потоці [13].

**Висновки.** Для визначення біотропних параметрів ЕМП КВЧ діапазону (частота, щільність потоку потужності, експозиція), що викликають збільшення врожайності коренеплодів, необхідні теоретичні дослідження біокібернетичної моделі насіння, що враховує електрофізичні параметри насіння і інформаційно-резонансний вплив ЕМП на мембранний потенціал клітин насіння. Також для розробки електромагнітної технології передпосівної обробки насіння в безперервному потоці необхідні дослідження і розробка *H*-секторіальної рупорної антени і високостабільного по частоті  $10^{-7}$  ...  $10^{-9}$  генератора КВЧ діапазону з вихідною потужністю 2 ... 3 Вт.

#### Список використаних джерел

1. Справочник по радиоизмерительным приборам [Текст] / [под ред. Насонова В. С.]. – М. : Сов. радио, 1986. – 485 с.
2. Hewlett Packard. Test Measurement Catalog, 1998. – 180 p.
3. Parker, R. Vacuum Electronics / Parker R., Abrams R., Danly B., Levush B.// IEEE Transactions on MTT. – 2002. – V. 50, №3. – P. 835 – 845.
4. Granatstain, V. Vacuum electronics at the dawn of the twenty-first century / Granatstain V., Parkekr R., C. Armstrong // Proc. IEEE. – 1999. – V. 87, №5. – P. 702 – 716.
5. Schneider, J. Stimulated emission of radiation by relativistic electrons in a magnetic field / Schneider J.// Phys. > Rev. Letters. – 1959. – V. 2, №12. – P. 504 – 505.
6. Freund, H. P. Free-electron lasers: vacuum electronic generators of coherent radiation / Freund H. P., Neil G. R. // Proceeding of the IEEE. – 1999. – V. 87, № 5. – P. 782 – 803.
7. Касаткин, Л. В. Электрорадиотехнические приборы диапазона миллиметровых волн [Текст] / Л.В. Касаткин, В.П. Рукин, В.Д. Еремка и др. – Севастополь : Вебер, 2007. – 252 с.
8. Оленюк, О. А. Джерела КВЧ діапазону для інформаційного впливу на біологічні об'єкти [Текст] / Оленюк О. А. / Радіоелектроніка та молодь в 21 столітті: матеріали 17-го міжнародного молодіжного форуму (Харків, 22-24 квітня 2013р.) / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Х.: ХНУРЕ, 2013. – С. 168 – 169.
9. Касаткин, Л. В. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн [Текст] / Касаткин Л. В., Чайка В. Е. – Севастополь: Вебер, 2006. – 319 с.
10. Кюн, Р. Микроволновые антенны [Текст] / Кюн Р.: пер. с нем. под ред. Долуханова М.П. – Л.: Судостроение, 1967. – 520 с.
11. Хажен, Р. Сканирующие антенные системы СВЧ [Текст] / Хансен Р.: пер. с англ. под ред. Г.Т.Маркова. – М. : Сов. радио, 1966. – 356 с.
12. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ [Текст] / Д.М.Сазонов. – М. : Высшая школа, 1988. – 432 с.
13. Вайнштейн, Л. А. Электромагнитные волны [Текст] / Л.А. Вайнштейн. – М. : Радио и связь, 1988. – 440 с.

#### References

1. Nasonov, V. S. (Eds.). (1986). *Spravochnik po radioizmeritel'nyh priboram [Handbook of Devices radiomeasuring]*. Moscow: Sov. radio.
2. *Test and measurement catalog* (1988). Palo Alto, CA: Hewlett Packard.
3. Parker, R., Abrams, R., Danly, B., & Levush, B. (2002). Vacuum electronics. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(3), 835-845.
4. 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.
5. Schneider, J. (1959). Stimulated Emission of Radiation by Relativistic Electrons in a Magnetic Field. *Physical Review Letters*, 2(12), 504-505.
6. Freund, H., & Neil, G. (1999). Free-electron lasers: Vacuum electronic generators of coherent radiation. *Proceedings of the IEEE*, 87(5), 782-803.
7. Kasatkin, L. V., Rukin, V. P., & Eremka, V. D. (2007). *Jelektrovakuumnye pribory diapazona millimetrovyyh voln [Electrovacuum devices of millimeter wave]*. Sevastopol : Veber.

8. Olenyuk, O. A. (2013). Dzherela KVCh diapazonu dlia informatsijnoho vplyvu na biolohichni ob'iekty [Microwave sources for information influence on biological objects]. Proceedings from the 17th International Youth Forum '13: *Radioelektronika ta Molod' v 21 Stolitti – Electronics and Youth in the 21st century*, (pp. 168-169). Kharkiv: KhNURE.

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

10. Kjun, R. (1967). *Mikrovolnovye anteny* [Microwave antennas]. (M.P. Doluhanova, Trans). Leningrad: Sudostroenie.

11. Hansen, R. (1966). *Skanirovushhie antennye sistemy SVCh* [Scanning microwave antennas system]. (G. T. Markova, Trans). Moscow: Sov. radio.

12. Sazonov, D. M. (1988). *Anteny i ustrojstva SVCh* [Antennas and microwave devices]. Moscow : Vysshaja shkola.

13. Vajnshtejn, L. A. (1988). *Jelektromagnitnye volny* [Electromagnetic waves]. Moscow: Radio i svjaz'.

*Дата надходження статті до редакції : 15.03.2016*

*1 рецензування 28.03.2016, прийняття в друк: 06.04.2016*

*Received: 15.03.2015. 1st Revision: 28.03.2016. Accepted: 06.04.2016*

**Alexander Olenyuk**

*Ph.D. (Techn.)*

*Assistant Lecturer*

**Anatoly Olenyuk**

*Ph.D. (Agric.),*

*Associate Professor*

*Department of repair of machinery and energy equipment*

*Engineering Faculty*

*State Agrarian and Engineering University in Podilya*

*Kamenets-Podilsky, Ukraine*

*Email: [unicorn.ua@gmail.com](mailto:unicorn.ua@gmail.com)*

## ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND ANTENNAS FOR PRE-TREATMENT OF SEEDS IN A CONTINUOUS STREAM

*Electromagnetic technology for pre-treatment of seeds needed source of microwave oscillations with high demands on fluctuation spectral and power characteristics. The article offers the opportunity to create the necessary sources based on avalanche-transit diodes. The research is based on analysis of the literature, according to which it can be concluded that the waveguide resonators are widely spread in the EHF, as in this range of quality factor higher than coaxial and stripline. Waveguide-pin and radial waveguide resonators are commonly used. Different types of antennas, the main ones: waveguide-slotted, surface wave antenna and horn are used in the EHF wavelengths. The result of the developed method follows that one of the main elements of the installation for pre-treatment of seed emitter EM energy that must form the desired radiation pattern and provide sufficient power flux density at the grain when moving conveyor belt.*

**Keywords:** *electromagnetic technology, waves, antennas, generators, fluctuations.*

**Александр Оленюк**

*к.т.н., ассистент*

**Анатолий Оленюк**

*к.с.х.н., доцент*

*кафедра ремонта машин и энергооборудования*

*Инженерно-технический факультет*

*Подольский государственный аграрно-технический*

*университет*

*Каменец-Подольский, Украина*

*Email: [unicorn.ua@gmail.com](mailto:unicorn.ua@gmail.com)*

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН В НЕПРЕРЫВНОМ ПОТОКЕ