

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ**

**А. І. ЧМІЛЬ**, доктор технічних наук, професор

**К. О. ЛАЗАРЮК**, аспірант\*

**Національний університет біоресурсів**

**і природокористування України**

*E-mail: kostiantynlazariuk@gmail.com*

**Анотація.** В основу роботи сучасних генераторів і підсилювачів НВЧ покладено принцип взаємодії струмів носіїв зарядів з НВЧ-поллями. У таких приладах управління здійснюється за допомогою елементів хвилеводних трактів: резонаторів та уповільнюючих систем. Усі НВЧ-прилади можна розділити на дві категорії: вакуумні й твердотілі. До першої належить магнетрон, у якому між катодом і анодом, за рахунок зовнішнього джерела постійної напруги, виникають схрещені статичні електричні і магнітне поля. Частота НВЧ-коливань і геометричні розміри резонаторів тісно пов'язані один із одним. Очевидно, що частота генерації залежить і від напруженості магнітного поля. Обертаючись круговими орбітами, електрони багаторазово віддають свою енергію НВЧ-полю, так що  $\text{ККД}_{\text{ген}} \sim 90\%$ .

Сконструйований нами хвилевід можна розглядати як систему плоских дзеркал, що утворюють замкнену порожнину. При цьому на одній зі стінок хвилеводу знаходиться штировий випромінювач-антена. Форма генеруючої ним хвилі достатньо складна й подібна до поля випромінювання диполя в ближній зоні, але вона може розглядатися як сума плоских хвиль, що поширюються у різних напрямках, крім напрямків уздовж осі випромінювача. Оскільки струми НВЧ поширюються поверхнею провідника, внутрішня поверхня хвилеводу повинна бути ідеально гладкою, без подряпин, кратерів і наростів. Дефекти поверхні хвилеводу є серйозною перешкодою для струмів НВЧ.

**Ключові слова:** електромагнітне поле високої частоти, НВЧ-установка, хвилевід, магнетрон

**Актуальність.** Питанню передпосівної обробки сільськогосподарської продукції приділяється значна увага, особливо останніми роками, коли постійно зростає собівартість аграрного виробництва.

Однією з найважливіших сільськогосподарських культур є кукурудза. Однак потенційні можливості цієї культури використовуються далеко не повністю. Основні причини, що стримують підвищення врожайності, є низька схожість, висока чутливість сортів до захворювань і шкідників,

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор А. І. Чміль

© А. І. Чміль, К. О. Лазарюк, 2018

слабка енергія проростання насіння. Не менш значною проблемою є збереження вирощеного продукту, тому що його втрати в процесі зберігання через вплив грибкових, вірусних, бактеріальних та інших захворювань можуть досягати більш ніж 20%.

Відомо, що особливості процесу проростання насіння і подальшого розвитку рослини зумовлені епігенетичними механізмами клітинної активації, які «запускають» складні багатоетапні біохімічні реакції. Зокрема, існують чинники, які визначають повноту реалізації генетичного потенціалу насіння, збільшують їх стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища, підвищують імунітет до вірусних, бактеріальних і грибкових захворювань. Програма розвитку насіння, «запущена» при його проростанні, викликає безліч послідовних біохімічних реакцій в онтогенезі, у результаті чого, може покращитися стійкість рослин до несприятливих факторів розвитку та підвищення врожайності.

Для успішного подолання зазначених проблем необхідно використовувати сучасні високоефективні технології передпосівної обробки насіння, які дадуть змогу отримати екологічно чистий та екологічно безпечний продукт, стійкий до стресових факторів проростання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В основу роботи сучасних генераторів і підсилювачів НВЧ покладено принцип взаємодії струмів носіїв зарядів з НВЧ-полями. У таких приладах управління здійснюється за допомогою елементів хвилеводних трактів: резонаторів і уповільнюючих систем.

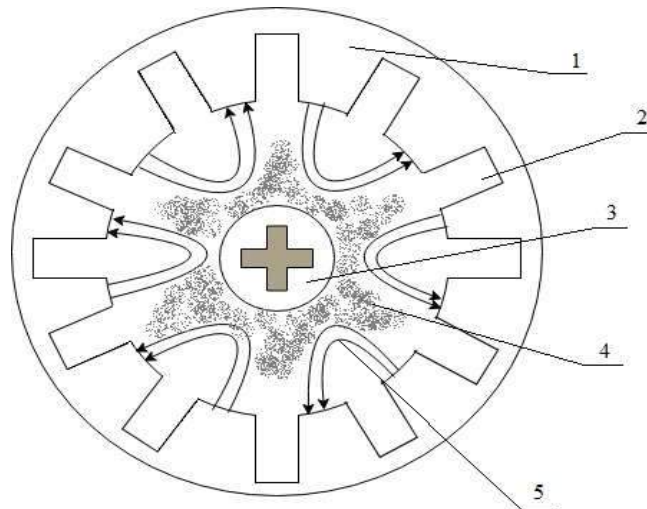
Усі НВЧ-прилади можна розділити на дві категорії: вакуумні й твердотілі. До першої належить магнетрон (рис.1)[1], у якому між катодом і анодом, за рахунок зовнішнього джерела постійної напруги, виникають схрещені статичні електричні та магнітне поля. Електрони в таких схрещених полях рухаються з певною середньою швидкістю по замкнених кругових орбітах. Якщо ця швидкість дорівнює середній швидкості НВЧ-хвилі, тобто виконується умова синхронізму електронів і хвиль, то НВЧ-поле, наведене електронами в резонаторах, проникає зі щілин резонаторів у проміжок анод-катод з певною просторовою періодичністю, гальмує ці електрони, формуючи з них так звані спиці просторових зарядів. При цьому гальмуванні, кінетична енергія електронів перетворюється на енергію НВЧ-поля. Для повної передачі енергії від електронів полю необхідно, щоб електрони переміщувалися від резонатора до резонатора за час

$$t_{\text{пр}} = 1/2 T_{\text{НВЧкол}}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{пр}}$  – час руху електронів між резонаторами;

$T_{\text{НВЧкол}}$  – період НВЧ-коливання.

Таким чином, частота НВЧ-коливань і геометричні розміри резонаторів тісно пов'язані один із одним. Очевидно, що частота генерації залежить і від напруженості магнітного поля. Обертаючись круговими орбітами, електрони багаторазово віддають свою енергію НВЧ-полю, так що  $\text{ККД}_{\text{ген}} \sim 90\%$ .



**Рис. 1. Антена магнетрона:**

1 – катод; 2 – резонаторна камера; 3 – анод; 4 – заряд; 5 – силові лінії НВЧ

Хвилевід являє собою порожню металеву трубу з добре провідними стінками, у межах якої можуть розповсюджуватися електромагнітні хвилі.

НВЧ-струм, протікає поверхнею провідника й тому велика площа хвилеводу відіграє позитивну роль, забезпечуючи малі струмові втрати. Крім того, хвилевід, є резонансним пристроєм. Завдяки розрахунку його геометричних розмірів, у ньому виникають хвилі лише потрібної нам частоти. Магнетрон, під час роботи, крім хвиль основної – потрібної частоти, випромінює весь спектр побічних частот – гармонік, які мають негативний вплив на роботу магнетрона і всієї системи в цілому [2].

**Мета дослідження** – аналіз та обґрунтування конструктивних елементів НВЧ установки для передпосівної обробки насіння кукурудзи.

**Матеріали і методи дослідження.** Сконструйований нами хвилевід можна розглядати як систему плоских дзеркал, що утворюють замкнену порожнину (рис. 2). При цьому на одній зі стінок хвилеводу знаходиться штировий випромінювач-антена. Форма генеруючої ним хвилі достатньо складна і подібна до поля випромінювання диполя в ближній зоні, але вона може розглядатися як сума плоских хвиль, що поширюються у різних напрямках, крім напрямків уздовж осі випромінювача. Хвилі, хвильові вектори яких лежать у площині поперечного перерізу, падають на вузькі стінки хвилеводу, відбиваються, але, оскільки їх хвильовий вектор залишається лежати в тій самій площині, вони не беруть участі в перенесенні енергії вздовж хвилеводу, а утворюють, у результаті взаємного впливу, стоячу хвилю. Кучність цієї хвилі повинна знаходитися в місці розташування випромінювача. Звідси випливає, що відстань від випромінювача до кожної з бічних стінок повинна бути

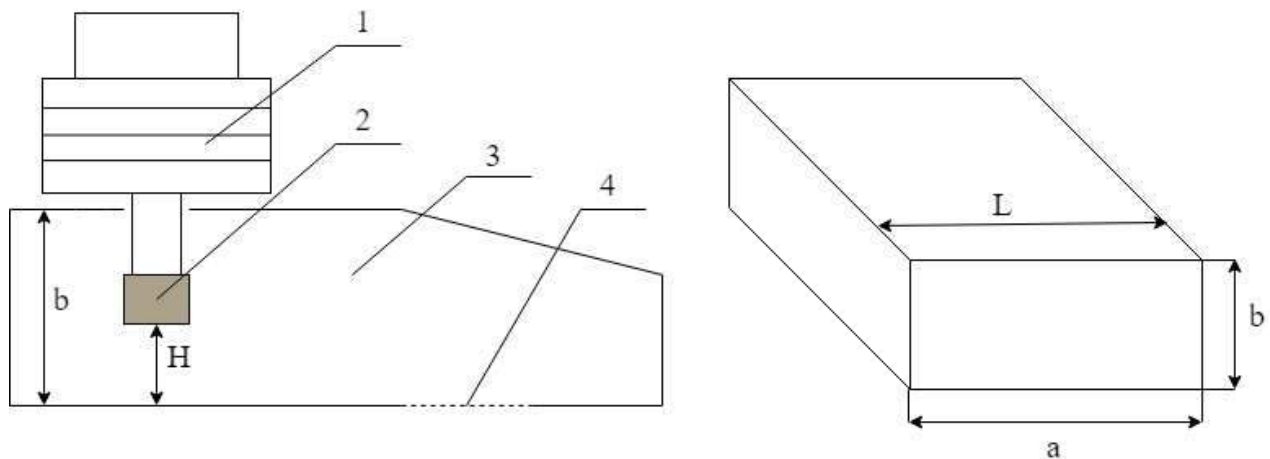
$$H = \lambda/4, \quad (2)$$

де  $H$  – відстань від антени магнетрона до бічних стінок хвилевода;  
 $\lambda$  – довжина хвилі НВЧ поля;  
 відстань між цими стінками

$$L = \lambda/2, \quad (3)$$

а співвідношення сторін

$$a/b \leq 0.5. \quad (4)$$



**Рис. 2. Геометричні параметри хвилеводу:**

1 – магнетрон; 2 – антена магнетрона; 3 – порожнина хвилеводу;  
 4 – вихід хвилеводу в камеру

Це дає змогу генерувати в ньому мікрохвилі тієї частоти, яка необхідна. Хвилі побічних – паразитних частот, завдяки багаторазовому відбиттю від стінки хвилеводу, або взаємознищуються або згасають.

Відомо, що всі резонансні пристрої, у тому числі й магнетрон, здатні не тільки випромінювати хвилі, але й приймати їх. Коли магнетрон випромінює увесь спектр коливань безпосередньо в камеру для обробки матеріалу, без хвилеводу, то через нерівномірність навантаження в камері, певна частина спектру після відбивання від її стіни, обов'язково повернеться назад до магнетрона, що призведе до втрати потужності і перегріву магнетрона. Тому наявність хвилеводу, дозволяє узгодити генератор з навантаженням і тим самим виключити це явище.

**Висновки та перспективи.** Аналіз проведених досліджень свідчить про те, що хвилевід магнетрона має відповідати певним геометричним параметрам для коректної роботи всієї установки. Сконструйований нами хвилевід можна розглядати як систему плоских дзеркал, що утворюють замкнену порожнину. При цьому на одній зі стінок хвилеводу знаходиться штировий випромінювач-антена. Оскільки довжина генеруючої хвилі магнетрона  $\lambda = 12$  см, то ми отримали, що відстань від випромінювача до кожної з бічних стінок  $H = 3$  см, а відстань між цими стінками  $L = 6$  см.

### Список літератури

1. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції : навч. посіб. / Г. Б. Іноземцев, О. М. Берека, О. В. Окушко, С. М. Усенко ; за ред. Г. Б. Іноземцева. – К. : КОМПРИНТ, 2015. – 306 с.
2. Шибков А. Н. Направляемые волны и направляющие системы : учеб. пособие / А. Н. Шибков. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2013. – 63 с.

### 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: KOMPRYNT, 306.
2. Shibkov, A. N. (2013). Napravlyayemyye volny i napravlyayushchiye sistemy: uchebnoye posobiye [Guided Waves and Guiding Systems]. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 63.

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КУКУРУЗЫ

**А. И. Чмиль,  
К. А. Лазарюк**

**Аннотация.** В основу работы современных генераторов и усилителей СВЧ положен принцип взаимодействия токов носителей зарядов с СВЧ-полями. В таких приборах управление осуществляется с помощью элементов волноводных трактов: резонаторов и замедляющих систем. Все СВЧ-приборы можно разделить на две категории: вакуумные и твердотельные. К первой относится магнетрон, в котором между катодом и анодом, за счет внешнего источника постоянного напряжения, возникают скрещенные статические электрические и магнитное поля. Частота СВЧ-колебаний и геометрические размеры резонаторов тесно связаны друг с другом. Очевидно, что частота генерации зависит и от напряженности магнитного поля. Вращаясь по круговым орбитам электроны многократно отдают свою энергию СВЧ-полю, так что ККДген ~ 90%.

Сконструированный нами волновод можно рассматривать как систему плоских зеркал, образующих замкнутую полость. При этом на одной из стенок волновода находится штыревой излучатель-антенна. Форма генерирующей ним волны достаточно сложная и подобна полю излучения диполя в ближней зоне, но она может рассматриваться как сумма плоских волн, распространяющихся в различных направлениях, кроме направления вдоль оси излучателя. Так как токи СВЧ распространяются по поверхности проводника, внутренняя поверхность волновода должна быть идеально гладкой, без царапин, кратеров и наростов. Дефекты поверхности волновода являются серьезным препятствием для токов СВЧ.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле высокой частоты, СВЧ-установка, волновод, магнетрон

# THE SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE MICROWAVE INSTALLATION FOR THE INTERMEDIATE PROCESSING OF CORN SEEDS

A. Chmil,  
K. Lazariuk

**Abstract.** *The principle of interaction of charge carrier currents with microwave fields is based on the work of modern generators and microwave amplifiers. In such devices, control is carried out with the help of elements of waveguide paths: resonators and remote-control systems. All microwave devices can be divided into two categories: vacuum and solid-state. The first is the magnetron. In which between the cathode and the anode due to an external source of constant voltage arise crossed static electric and magnetic fields. The frequency of microwave oscillations and the geometric dimensions of the resonators are closely related to each other. It is obvious that the generation frequency depends on the intensity of the magnetic field. Rotating in circular orbits, electrons repeatedly give their energy to the microwave field, so that the KKDgen is 90%.*

*The waveguide constructed by us can be regarded as a system of plane mirrors forming a closed cavity. At the same time on one of the walls of the waveguide there is a whip radiator-antenna. The shape of the generating wave is quite complex and similar to the dipole radiation field in the near zone, but it can be considered as the sum of plane waves propagating in different directions except for the direction along the axis of the radiator. Since microwave currents propagate along the surface of the conductor, the inner surface of the waveguide must be perfectly smooth, without scratches, craters and outgrowths. Defects of the surface of the waveguide - is a serious obstacle to microwave currents.*

**Keywords:** *high-frequency electromagnetic field, microwave installation, waveguide, magnetron*