

## БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАЩИТА ОТ ПОБОЧНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ УСТРОЙСТВ ВВОДА СВЧ-ЭНЕРГИИ В ПОЧВУ

*Н.Д. Полевик, Б.В. Жданов*

## CONTACTLESS PROTECTION FROM SPURIOUS EMISSION OF ULTRA-HIGH FREQUENCY ENERGY INPUT DEVICE TO THE GROUND

*N.D. Polevik, B.V. Zhdanov*

Показано, что введение в конструкцию торцевого экрана рупорного излучателя СВЧ-энергии, работающего на почву через воздушный промежуток, полого четверть-волнового выступа обеспечивает десятикратное уменьшение плотности потока мощности побочного излучения в широких диапазонах изменения влажности почвы, высоты подвеса излучателя над ней и длины электромагнитной волны.

*Ключевые слова:* электромагнитная энергия, сверхвысокая частота, электромагнитное излучение, электромагнитная волна, побочное излучение, почва.

The article shows that inducing of a cored quarter-wave projection into an end shield of a horn-type ultra-high frequency energy radiator acting to the ground through air space provides tenfold density decrease of spurious emission power flow in a wide range of changes in water content of soil, the height of suspension of radiator and the length of electromagnetic wave.

*Keywords:* electromagnetic energy, ultra-high frequency, electromagnetic radiation, electromagnetic wave, spurious emission, soil.

### Введение

Ключевой проблемой разработки и эксплуатации промышленных сверхвысокочастотных (СВЧ) установок является защита обслуживающего персонала от побочного электромагнитного излучения. Особенно остро эта проблема стоит в СВЧ установках, имеющих технологические отверстия или зазоры между апертурой излучателя и обрабатываемым объектом. Например, в СВЧ-установках для обработки почвы [1, 2] принципиально необходим зазор между перемещаемым излучателем и почвой. В таких установках уменьшение уровня побочного излучения достигается размещением вокруг излучателя поглощающего материала [1], что приводит к росту габаритов и массы устройства ввода, а при его работе на больших мощностях к значительным потерям мощности и разогреву поглотителя.

В качестве защитного устройства можно использовать бесконтактные замыкатели электромагнитного поля, которые широко используются в классической СВЧ технике: в фланцевых соедине-

ниях волноводов [3], во вращающихся СВЧ переходах, в дверцах бытовых СВЧ печей. Принцип их действия основан на трансформации сопротивлений в линии передачи, в частности, переноса замыкания на вход отрезка полуволновой короткозамкнутой линии – дроссельные замыкатели. Практическое применение таких замыкателей связано с использованием однородной линии передач с металлическими проводниками и малым зазором менее  $\lambda/16$ , где  $\lambda$  – длина электромагнитной волны [3]. Однако в СВЧ установках величина этого зазора может достигать  $\lambda/4$ , а проводниками линии передачи может быть металл и диэлектрик с варьируемыми диэлектрическими характеристиками. Отсюда вытекает задача данной работы – оценить эффективность работы дроссельных замыкателей СВЧ поля в устройстве ввода СВЧ-энергии в почву при изменении в широких пределах: влажности почвы, технологического зазора между излучателем и почвой и длины ЭМВ.

---

**Полевик Николай Дмитриевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации с.-х. производства, Челябинская государственная агроинженерная академия; poleviknd@mail.ru

**Жданов Борис Викторович** – канд. техн. наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет; borisz@irbox.ru

---

**Nikolay Dmitrievich Polevik** – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the Department of Agrarian Production of Chelyabinsk State Agrarian Engineering Academy; poleviknd@mail.ru

**Boris Viktorovich Zhdanov** – Candidate of Science (Engineering), associate professor of Radio Equipment Design and Production Department of South Ural State University; borisz@irbox.ru

### Методы и результаты исследований

Для решения поставленной задачи использовались методы экспериментальных исследований и компьютерного моделирования.

В качестве излучателя была использована рупорная антенна с размерами раскрыва  $0,6 \times 0,6$  м. Дроссельный замыкатель был реализован за счет расположения по периметру раскрыва замкнутых на конце волноводных направляющих систем полуволновой длины, образованных торцевым экраном с размерами  $1,08 \times 1,08$  м, содержащим полый выступ П-образного сечения, и поверхностью почвы [2,4] (см. рис. 1). А для оценки эффективности работы дроссельного замыкателя был изготовлен аналогичный экран, не содержащий этот выступ.

При этом расстоянии от края раскрыва излучателя до начала выступа (а), ширина (b) и высота выступа (h), а также расстояние от края экрана до выступа (с) были выбраны равными 8 см, что составило примерно четверть длины волны  $\lambda$ , на которой проводились экспериментальные исследования. Следует отметить, что длина волны типа  $H_{01}$  в волноводе, широкими стенками которого являются торцевой экран и почва  $\lambda_B$ , несколько больше  $\lambda$ , однако, отличие не велико, так как в реальных устройствах, размеры раскрыва излучателя, а следовательно, и критическая длина волны колебаний  $H_{01}$  велики по сравнению с  $\lambda$ . Рекомендации по выбору вышеуказанных размеров элементов конструкции экрана могут быть получены по результатам исследований зависимости эффективности его работы от  $\lambda$ .

Устройство ввода СВЧ-энергии располагалось над специально созданным «земляным каналом» с размерами  $2 \times 2 \times 1$  м. Исследовались зависимости уровня излучения из промежутка излучатель – почва от её влажности ( $W_{\text{П}}$ ) и высоты подвеса излучателя над ней (H) для трех устройств ввода: рупорный излучатель, не содержащий торцевого экрана, и рупорные излучатели, содержащие торцевые экраны с полым выступом и без него.

Уровень побочного излучения определялся с использованием измерительной системы, состоящей из антенны П6-23А и измерителя мощности МЗ-51. Измерительная антенна располагалась в

плоскости ортогональной плоскости раскрыва рупорного излучателя на расстоянии от центра его раскрыва, равном 0,54 м (вплотную к почве и торцевому экрану). Эксперименты проводились на частоте настройки излучателя 890 МГц. Методика экспериментальных исследований приведена в работе [2].

Путем трехмерного компьютерного моделирования была построена исследовательская установка и проведены исследования трех моделей устройств ввода, соответствующих устройствам, используемым в экспериментальных исследованиях: рупорный излучатель, не содержащий торцевого экрана, и рупорные излучатели, содержащие торцевые экраны с полым выступом и без него. Рассчитывались модули коэффициентов передачи  $S_{1,2}$  со входа рупорного излучателя на выход измерительной рупорной антенны при различной влажности почвы и высоте подвеса излучателя над ней. Расчетные зависимости модуля  $S_{12}$  для трех моделей устройств при  $W_{\text{П}} = 22\%$  приведены на рис. 2.

Для сравнительной оценки эффективности работы торцевых экранов введем коэффициенты:  $K_1 = 20 \lg \frac{U_0}{U_1}$ ,  $K_2 = 20 \lg \frac{U_0}{U_2}$  и  $K_3 = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}$  (где  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  – уровни побочного излучения рупорного излучателя, не содержащего торцевого экрана, содержащего торцевые экраны без полого выступа и содержащего полый выступ соответственно).

На рис. 3 приведены графики расчетных и экспериментальных зависимостей коэффициентов  $K_1$  (графики 1 и 3) и  $K_2$  (графики 2 и 4) от высоты подвеса излучателя над почвой ( $W_{\text{П}} = 22\%$ ).

Были выполнены расчеты частотных характеристик трех моделей устройств ввода при различных высотах подвеса и влажности почвы. Эффективность работы торцевого экрана с полым выступом в полосе частот определялась по усредненному коэффициенту  $K_3$  (рис. 4). Усреднение проводилось по полученным его значениям в диапазоне рабочих высот подвеса излучателя 2–8 см.

Полученная частотная характеристика показывает, что введение полого четвертьволнового выступа в торцевой экран обеспечивает десятикратное снижение плотности потока мощности побочного излучения в широкой полосе частот

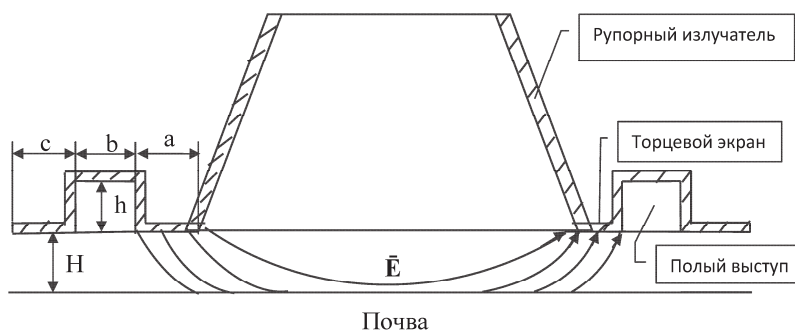


Рис. 1. Устройство ввода СВЧ-энергии в почву

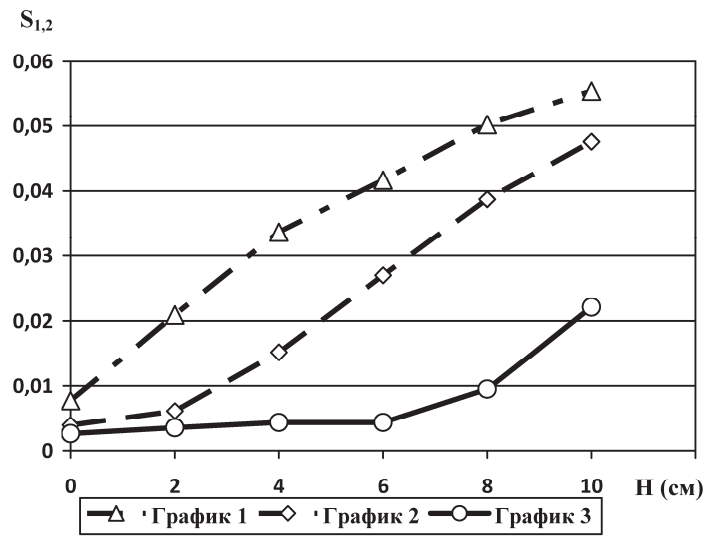


Рис. 2. Графики зависимости модуля коэффициента передачи  $S_{1,2}$  от высоты подвеса над почвой различных моделей устройств ввода: 1 – торцевой экран отсутствует; 2 – торцевой экран не содержит полого выступа; 3 – торцевой экран содержит полый выступ

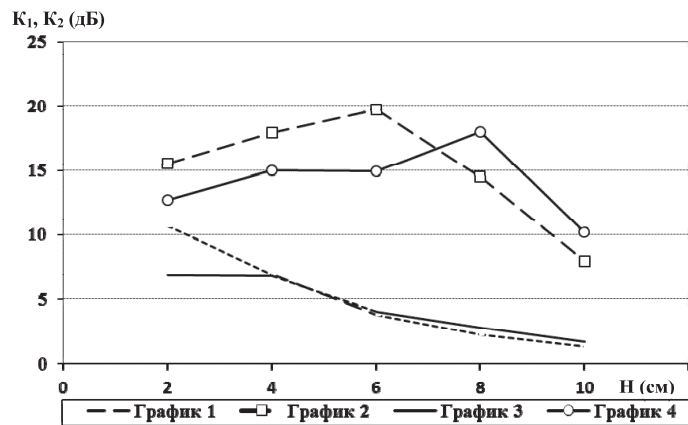


Рис. 3. Графики 1 и 2 – расчетные, 3 и 4 – экспериментальные зависимости

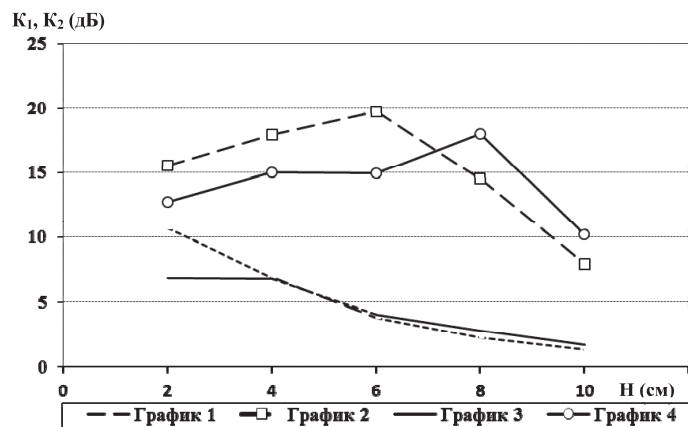


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента  $K_3$  (ВП = 22 %)

860–935 МГц, составляющей 8,3 % от средней частоты рабочего диапазона частот. Максимальное ослабление побочного излучения (17 дБ) приходится на частоту 925 МГц ( $\lambda/4 = 32$  см), что позволяет сделать вывод о целесообразности использования для расчета элементов конструкции торцевого экрана длину электромагнитной волны в свободном пространстве.

Расчетные и экспериментальные зависимости усредненного коэффициента  $K_3$  от влажности почвы представлены на рис. 5. Приведенные данные показывают, что устройство ввода с торцевым экраном, содержащим полый выступ, эффективно ослабляет уровень побочного излучения в широком диапазоне изменения влажности почвы.

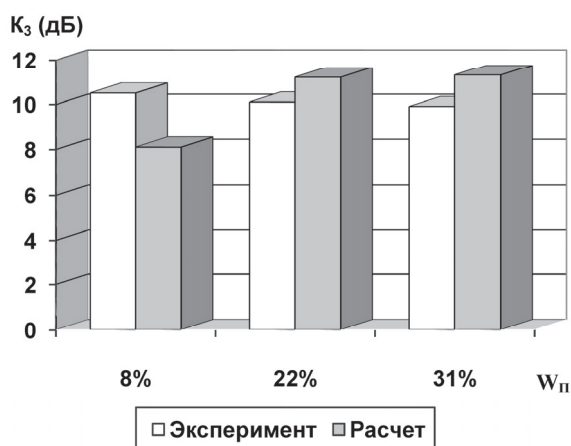


Рис. 5. Зависимость коэффициента  $K_3$  от влажности почвы

### Выводы

Экспериментальными исследованиями и компьютерным моделированием показано, что введение в конструкцию торцевого экрана рупорного излучателя СВЧ-энергии, работающего на почву через воздушный промежуток полого четвертьволнового выступа, обеспечивает эффективное, в пределах 10 дБ, уменьшение уровня побочного излучения в широких диапазонах изменения частоты электромагнитных колебаний, влажности почвы и высоты подвеса излучателя над ней, вплоть до одной четвертой длины излучаемой электромагнитной волны.

Предложенное техническое решение позволяет повысить безопасность работы СВЧ-установок, имеющих технологические зазоры между излучателем СВЧ-энергии и обрабатываемым объектом.

### Литература

1. Шустов, В.И. Определение основных параметров автономной мобильной СВЧ-установки для борьбы с сорной растительностью: дис. ... канд. техн. наук / В.И. Шустов. – зерноград: ВНИИТИМЭСХ, 1987. – 220 с.
2. Полевик, Н.Д. Методы и средства борьбы с сорной растительностью с использованием импульсных СВЧ-излучений: дис. ... канд. техн. наук / Н.Д. Полевик. – Челябинск: ЧГАУ, 2007. – 218 с.
3. Ширман Я.Д. Радиоволноводы и объемные резонаторы / Я.Д. Ширман. – М.: Гос. изд. литературы по вопросам связи и радио, 1959. – 380 с.
4. А.с. № 1693737 А1, А01М 21//00 (СССР). Устройство ввода СВЧ-энергии в почву / Ф.Я. Изаков, Н.Д. Полевик, Б.В. Жданов. – Опубл. 22.07.1991, БИ № 31.

Поступила в редакцию 7 сентября 2012 г.