

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.6: 631.421.1

ПАРАМЕТРЫ РАДИОСИГНАЛА ДЛЯ МАРКИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

А. С. Анженков, кандидат технических наук
В. П. Закржевский, старший научный сотрудник
П. И. Кирвель, кандидат географических наук
М. И. Мартынович, аспирант

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проведен основной этап полевых исследований параметров прохождения радиосигнала через почвогрунты для маркирования подземных элементов мелиоративных систем. Определена оптимальная частота, которая допустима к использованию в рамках законодательства Республики Беларусь при маркировании данных элементов. Получены зависимости уровня наведенного сигнала в метке от частоты подводимого сигнала к передающей антенне.

Ключевые слова: уровень наведенного сигнала, затухание сигнала, электронные маркеры, элементы мелиоративных систем.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel, M. I. Martynovich

RADIO SIGNAL PARAMETERS FOR MARKING UNDERGROUND ELEMENTS OF LAND IMPROVEMENT SYSTEMS

A main stage of field studies of parameters of radio signal passage through soil for marking of underground elements of land reclamation systems has been carried out. The optimum frequency, which is acceptable to use within the framework of the legislation of the Republic of Belarus for marking of these elements, was been determined. Dependences of the level of the induced signal in the mark on the frequency of the signal supplied to the transmitting antenna were obtained.

Keywords: induced signal level, signal attenuation, electronic markers, elements of reclamation systems.

Введение

В настоящее время в мировой практике для обозначения скрытых объектов применяется электронное маркирование. Наибольшую надежность, точность и оперативность дает использование электронных маркеров. Их преимущество заключается в отсутствии помех землепользованию, в точности позиционирования, надежности определения и долговечности, а недостатки связаны с необходимостью маркирования объектов в процессе строительства и (или) эксплуатации, влиянием типа и состояния почвогрунтов на эффективность обнаружения маркера [1].

Системы электронного маркирования позволяют определять местоположение объек-

тов с точностью до нескольких сантиметров. Поскольку сегодня системы электронного маркирования представлены на рынке Беларуси в основном продукцией зарубежных производителей, целесообразно разработать отечественную аналогичную систему, адаптированную для маркирования подземных элементов мелиоративных сооружений.

Принцип действия системы электронных маркеров основан на резонансном отражении радиосигнала маркероискателя маркером. Внутри маркера находится пассивный колебательный контур, настроенный на частоту излучения маркероискателя. Сигнал от прибора за счет эффекта электромагнитной индукции

вызывает колебания определенной резонансной частоты во внутреннем контуре маркера. Прибор улавливает эти ответные колебания и таким образом локализует местоположение

Основная часть

Маркеры размещаются над ключевыми точками сооружений (дренажными устьями, поворотами трасс дренажных коллекторов, узлами соединения дрен с коллектором и другими элементами дренажной сети), которые впоследствии легко отыскиваются ремонтными бригадами.

В мировой практике для маркирования объектов обычно используется три частотных диапазона: низкочастотный – LF (*Low Frequency*, 30–300 кГц), высокочастотный и радиочастотный – HF/RF (*High frequency/Radio frequency* 3–30 МГц), диапазон сверхвысоких частот – UHF (*Ultra High Frequency*, 300–3000 МГц), а также диапазон миллиметровых волн (свыше 3ГГц) [3, 4].

По дальности считывания системы электронных маркеров могут быть ближнего действия (до 20 см); средней дальности (от 20 см до 5 м); дальнего действия (от 5 м до 100 м).

Современные зарубежные системы маркирования подземных коммуникаций предназначены преимущественно для городских условий: они имеют недостаточный радиус обнаружения (1–2 м); высокую стоимость (до 30 у. е. за маркер); защищены патентами; могут быть включены в очередной санкционный список; рабочие частоты не всегда свободны для использования в Беларуси [5–7]. Кроме этого, данные системы решают задачи уточнения местоположения (например, относительно капитальных строений) и считывания цифровой сигнатуры маркера.

Существует классификация по способам передачи данных в направлении от передающего устройства (транспондера) к считываю-

маркера. При приеме отраженного сигнала маркероискатель подает звуковой и визуальный сигналы оператору [2].

Щему устройству. Здесь выделяют три группы: *первая* использует отражение или рассеяние (частота отраженного или рассеянного сигнала при этом равна частоте, на которой ведет передачу считывающее устройство; соотношение частот 1 : 1); *вторая* – модуляцию нагрузкой (транспондер воздействует на поле, которое излучает считывающее устройство, соотношение частот 1 : 1), *третья* функционирует с использованием транспондером субгармоник (соотношение частот – $1/N$) или поверхностных волн (N раз) [8, 9].

Электронные маркеры классифицируются на пассивные и активные.

Пассивные маркеры не содержат встроенного источника питания (батарею) и вместо этого для своего питания и передачи данных используют энергию, излучаемую передатчиком (далее – ридером).

Затухание радиосигнала при прохождении через почвогрунты мелиорированных земель имеет прямую зависимость от температуры, влажности, гранулометрического состава и обратную зависимость от частоты. Так, затухание радиосигнала уменьшается на низких частотах и возрастает на высоких, при этом с увеличением расстояния между антеннами эта зависимость возрастает.

Наиболее важным условием при выборе рабочей частоты маркера является оценка затухания радиосигнала на трассе его распространения, проходящей через почвогрунты. Рабочая частота маркера должна обеспечивать достаточный уровень отраженного или рассеиваемого сигнала для его уверенной регистрации считывающим устройством.

Результаты исследований и их обсуждение

Первичные полевые исследования по определению оптимальных параметров радиосигнала для маркирования электронными маркерами подземных элементов закрытых мелиоративных систем в различных комбинациях видов грунтов мелиорированных почв, при разных влажностях и температурах, различного

грансостава осуществлялись на основании анализа результатов исследований, представленных в отечественных и зарубежных источниках научной информации по изменению затухания радиосигнала маркера с расстоянием, углами, ориентацией, поляризацией в зависимости от диаграммы направленности [1, 2].

В исследовании параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты применялся генератор сигналов высокочастотного Г4-222/1 и анализатора спектра АК ИП-4205 в диапазоне частот 169,8 кГц – 6,780 МГц. Гранулометрический состав почвогрунтов определялся ситовым методом, влажность – термостатно-весовым, а температуру среды измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,2 °С.

Исследования проводились на мелиоративных системах (далее – МС) Вилейского р-на Минской обл. «Кобылянка» (в сельскохозяйственном производственном филиале «ЮНИК-АГРО» республиканского дочернего производственно-торгового унитарного предприятия «Молочный гостинец»), «Косуца – Комары» (в СУП «Восточный Агро» подразделения ОАО «Вилейский комбикормовый завод») и «Ментынь» (в ОАО «Вилейский райагросервис»).

В ходе исследований установлено, при каком условии наблюдается максимальная дальность обнаружения метки при мощности слоя почвогрунта в экспериментах до 1 м и протяженностью слоя почвогрунта до 3 м до места установки метки при различных почвогрунтах их влажности и температуры. Рассто-

яние между передающей антенной до метки в 3 м было определено экспериментально по гарантированному приему передающего сигнала анализатором спектра в исследуемом диапазоне (рис. 1). Мощность слоя обуславливалась в экспериментах верхним пределом грунтовых вод и составила 1 м. Данные отбора образцов влажности и гранулометрического состава исследуемых почв в шурфах исследуемых почв определялись при температуре воздуха 9–10 °С (табл. 1–2).

Полученные данные показывают, что затухания радиосигналов зависят не только от мощности торфяного слоя (чем больше мощность, тем больше затухания), но и от подстилающего слоя (его гранулометрического состава и влажности), через который также проходит радиосигнал. Так, чем крупнее частицы почвогрунта, тем больше влаги они могут содержать в своем составе, уменьшая, таким образом, радиопрозрачность и увеличивая затухание проходящего радиосигнала. Постторфяные почвы отличаются меньшим уровнем затухания при невысокой влажности. Это согласуется с выводами лабораторных и полевых исследований, выполненных ранее [10, 11].



а



б

Рис. 1. Определение дальности обнаружения радиомаркера в различных условиях в диапазоне частот 169,8 кГц, 2,0 МГц, 6,780 МГц:
а – ход выполнения исследований на МС «Ментынь»;
б – размещение радиомаркера в шурфе на МС «Кобылянка»

Таблица 1. Образцы влажности почв в шурфах на МС «Кобылянка», «Косу́та – Комары» и «Ментынь»

Почва	Характеристика слоя почвы	Глубина отбора образца, см	Влажность почвы, %
Постторфяная дерново-подзолистая почва, подстилаемая суглинками	Дернина	20	24,53
	Сработанный торф низинный	40	59,23
	Суглинок	100	16,01
Торф низинный, подстилаемый мелкозернистым оглееным песком	Дернина	20	84,95
	Торф низинный	60	371,54
	Оглеенный песок	100	20,46
Торф низинный, подстилаемый песком	Торф низинный	20	169,64
	Песок	50	22,01
	Переувлажненный песок	100	27,13

Таблица 2. Гранулометрический состав образцов почв в шурфах на МС «Кобылянка», «Косу́та – Комары» и «Ментынь»

«Кобылянка»			«Косу́та – Комары»			«Ментынь»		
Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %	Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %	Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %
Суглинок, 100 см	2,0	4	Мелкозернистый оглеенный песок, 100 см	2,0	2	Песок, 100 см	2,0	13
	1,0	6		1,0	3		1,0	33
	0,7	12		0,7	5		0,7	16
	0,5	13		0,5	6		0,5	10
	0,25	23		0,25	47		0,25	14
	0,1	29		0,1	32		0,1	10
	< 0,1	13		< 0,1	4		< 0,1	4

При выборе рабочей частоты для системы радиочастотной идентификации с индуктивной связью необходимо учитывать характеристики всех частотных диапазонов, имеющих в распоряжении. Решающее значение для выбора параметров имеет требуемый уровень напряженности поля в зоне действия планируемой системы. Измерение дальности действия для RFID-систем с индуктивной связью при одинаковом значении H и при различных

рабочих частотах показывает, что в диапазоне около 2 МГц имеется максимум дальности действия (рис. 2). Причина заключается в пропорциональной зависимости $U_{ind} \sim \omega$. Таким образом, при указанной выше частоте коэффициент передачи мощности электромагнитным излучением значительно выше, чем на частотах ниже 169,8 кГц. На частотах выше 2 МГц сказывается неблагоприятное соотношение L/C для колебательного контура транс-

пандера, и дальность действия вновь начинает уменьшаться с увеличением частоты.

В ходе исследования также измерялось напряжение, которое создается в транспондере, при этом площадь антенны и напряженность магнитного поля, которое излучалось антенной считывающего устройства, оставались постоянными. По результатам полевых исследований, при одинаковом уровне подводимого сигнала к передающей антенне на частотах диапазона 169,8 кГц – 6,780 МГц на расстоянии 3 м от передающей антенны получены зависимости уровня наведенного сигнала в метке от частоты подводимого сигнала к передающей антенне (рис. 2).

Из полученных данных следует, что на дальность обнаружения радиомаркера на разных глубинах в различных почвенных условиях при прохождении радиосигнала через почвогрунты влияние в диапазоне 169,8 кГц – 6,780 МГц в основном оказывает используемая радиочастота. Этой оптимальной частотой,

как показали в данном случае практические исследования, является частота 2 МГц.

Согласно анализу полученных данных (рис. 2) пиковые значения наведенного электромагнитного поля в метке соответствует частоте 2 МГц, что оптимально для условий исследования подземных элементов закрытой мелиоративной сети и гидротехнических сооружений на исследованных мелиоративных системах.

В соответствии с нормативно-правовой документацией [3–5] названная частота входит в диапазон 1950–2000 кГц, который является полосой радиочастот совместного пользования радиоэлектронными средствами всех назначений и позволяет использовать ее для нужд мелиоративной отрасли Беларуси при маркировании элементов закрытых мелиоративных систем, однако она ограничивает излучаемую мощность передающего устройства в 50 Вт, что не препятствует разрабатываемому изделию по обнаружению радиомаркера.

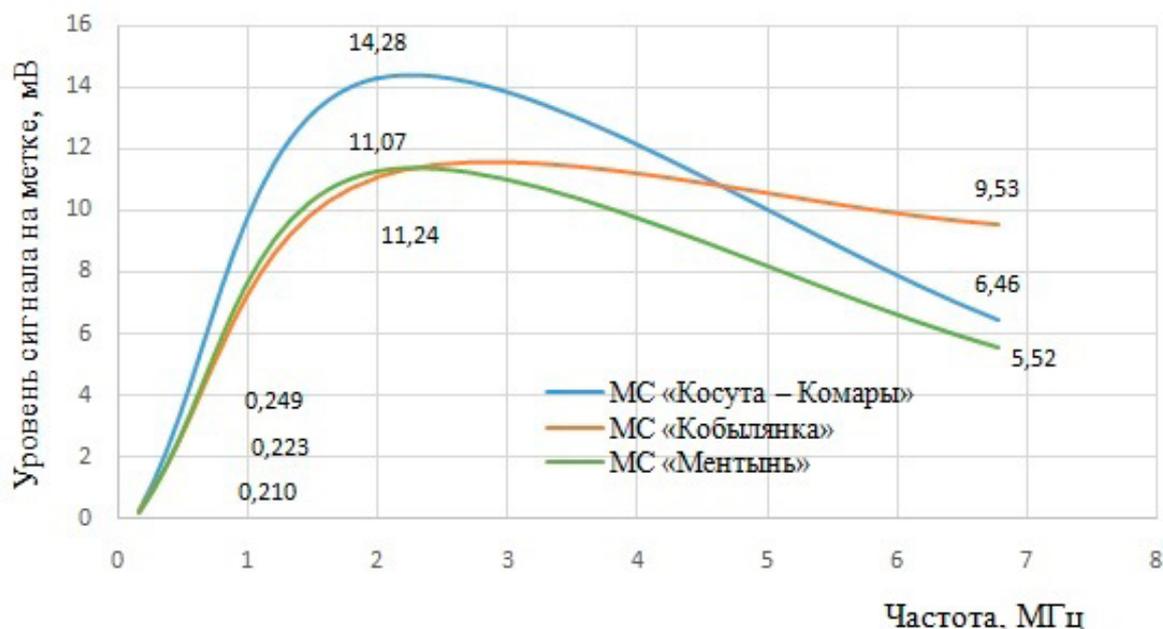


Рис. 2. Распределение уровня сигнала в метке в зависимости от частоты при одинаковом уровне подводимого сигнала в 20 В к передающей антенне в диапазоне частот 169,8 кГц – 6,780 МГц

Выводы

1. Радиомаркирование – это эффективный метод обозначения и последующего обнаружения подземных элементов закрытой мелиоративной сети и гидротехнических сооружений на сельскохозяйственных мелиорированных землях Беларуси.

2. Практические измерения на трех мелиоративных объектах Вилейского р-на Минской обл. в различных комбинациях видов грунтов мелиорированных почв показали прямую зависимость затухания радиосигналов от подстилающего слоя (его гранулометрического

состава и влажности), через который также проходит радиосигнал.

3. Максимальная эффективность маркирования достигается при частотах в 2 МГц.

4. Законодательные ограничения радиочастот на территории Республики Беларусь, предназначенных для применения в высокочастотных устройствах в промышленных и научных целях без оформления решений на выделение полос радиочастот на вторичной основе, позволяют использовать частоту в 2 МГц для маркирования элементов гидротехнических сооружений на мелиоративных системах в научно-прикладных и эксплуатационных целях.

Библиографический список

1. Лахири, С. RFID. Руководство по внедрению / С. Лахири ; пер. с англ. А. Казакова. – Москва : КУДИС-ПРЕСС, 2007. – 312 с.

2. Стариковский, А. В. Современные RFID-технологии : учеб. пособие / А. В. Стариковский, Д. М. Михайлов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 172 с.

3. Расчет ослабления в свободном пространстве : рекомендация МСЭ-R P.525-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 11.10.2024.

4. Электрические характеристики земной поверхности : рекомендация МСЭ-R P.527-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-I!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 22.10.2024.

5. Об электросвязи [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 19 июля 2005 г. № 45-3 с изм. и доп. от 28 дек. 2023 г. № 324-3 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10500045>. – Дата доступа: 15.11.2024.

6. О выделении, использовании радиочастотного спектра [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 15.04.2013 г. № 192 с изм. и доп. от 22 июня 2023 г. № 178 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31300192>. – Дата доступа: 15.11.2024.

7. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 авг. 2016 г. № 620 с изм. и доп. от 6 февр. 2024 г. № 88 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600620>. – Дата доступа: 15.11.2024.

8. Справочник по распространению земных волн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf. – Дата доступа: 23.10.2024.

9. Данные о распространении радиоволн для проектирования наземных линий связи пункта с пунктом : справочник [Электронный ресурс] / Междунар. союз электросвязи. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-R.pdf. – Дата доступа: 02.11.2024.

10. Анженков, А. С. Радиопроницаемость мелиоративных земель на примере торфяных почв, подстилаемых песком / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, И. О. Мосенз // Мелиорация. – 2021. – № 4 (98). – С. 14–17.

11. Анженков, А. С. Особенности определения параметров радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты на мелиоративных системах / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, П. И. Кирвель // Мелиорация. – 2023. – № 4 (106). – С. 5–13.

Поступила 26 ноября 2024 г.