

Повышение дальности покрытия радиоканала 433 МГц с помощью настраиваемой печатной антенны

УДК: 681.5

В данной работе представлены конструкция и принцип настройки антенны на печатной плате в составе схемы репитера данных по радиоканалу 433 МГц. Антенна предназначена для работы в системе термометрии зерна на элеваторах вертикального хранения.

Предлагаемая конструкция антенны имеет конструктивные перемычки, которыми настраивается оптимальное согласование и, тем самым, повышается дальность покрытия зоны связи. Конструкция антенны оптимизирована под настройку на объекте без специальных приборов и не имеет резьбовых и кабельных соединений.

Практическая проверка показала увеличение зоны покрытия радиосвязи в 2-3 раза по сравнению с укороченной штыревой «спиральной» антенной, поставляемой для HC12 диапазона 433 МГц.

Ключевые слова: печатная антенна, KCB, 433МГц, HC12

1. Конструкция антенны

Существующие антенны и антенно-фидерные системы для диапазона 433 МГц обычно «делают» на излучатель и кабельную линию, которую подключают к приемо-передатчику [1]. Для уменьшения времени и объема производственных и монтажных работ предлагается альтернатива – антенна на печатной плате, совмещенная с модулем приемо-передатчика. Такая конструкция антенны с приемо-передатчиком устанавливается в корпусе из радиопрозрачного пластмассового материала [2] и уменьшает риски повреждений в работе, поскольку все закрыто в один корпус.

Для настройки антенны на печатной плате под заданный диапазон и формирования оптимального согласования с модулем приемо-передатчика через определенные промежутки на линии дорожки антенны сформированы отверстия для установки «штырей-перемычек». На рисунке 1 представлена 3d модель печатной платы антенны с модулем связи HC12 [3].



Рисунок 1. 3D модель печатной платы антенны с модулем HC12

Антенна имеет общий размах длины полуволны рабочего диапазона 433 МГц, что составляет примерно 350 миллиметров. В каждом плече вибраторов подготовлены отверстия

для 10 «штырей-перемычек». Печатная линия вибратора расположена с двух сторон, её ширина составляет 5 миллиметров. Таким образом, на печатной плате толщиной 2 мм сформирован эквивалент вибратора из металла с сечением прямоугольника 5*2 миллиметра. Толщина печатной платы в 2 миллиметра выбрана для прочности и увеличения сечения эквивалента вибратора. Поскольку печатные линии антенны перемикаются через определенные интервалы, общая характеристика такой антенны имеет много резонансов излучения-поглощения, что можно проверить на векторном анализаторе антенн.

На модуле HC12 предусмотрен микро-коаксиальный разъем, к которому подключили векторный анализатор TyniSA [4] и в пассивном режиме проконтролировали характеристики в диапазоне 100...900 МГц. Проверка векторной характеристики изготовленной печатной платы с подключением антенны представлена на рисунке 2.

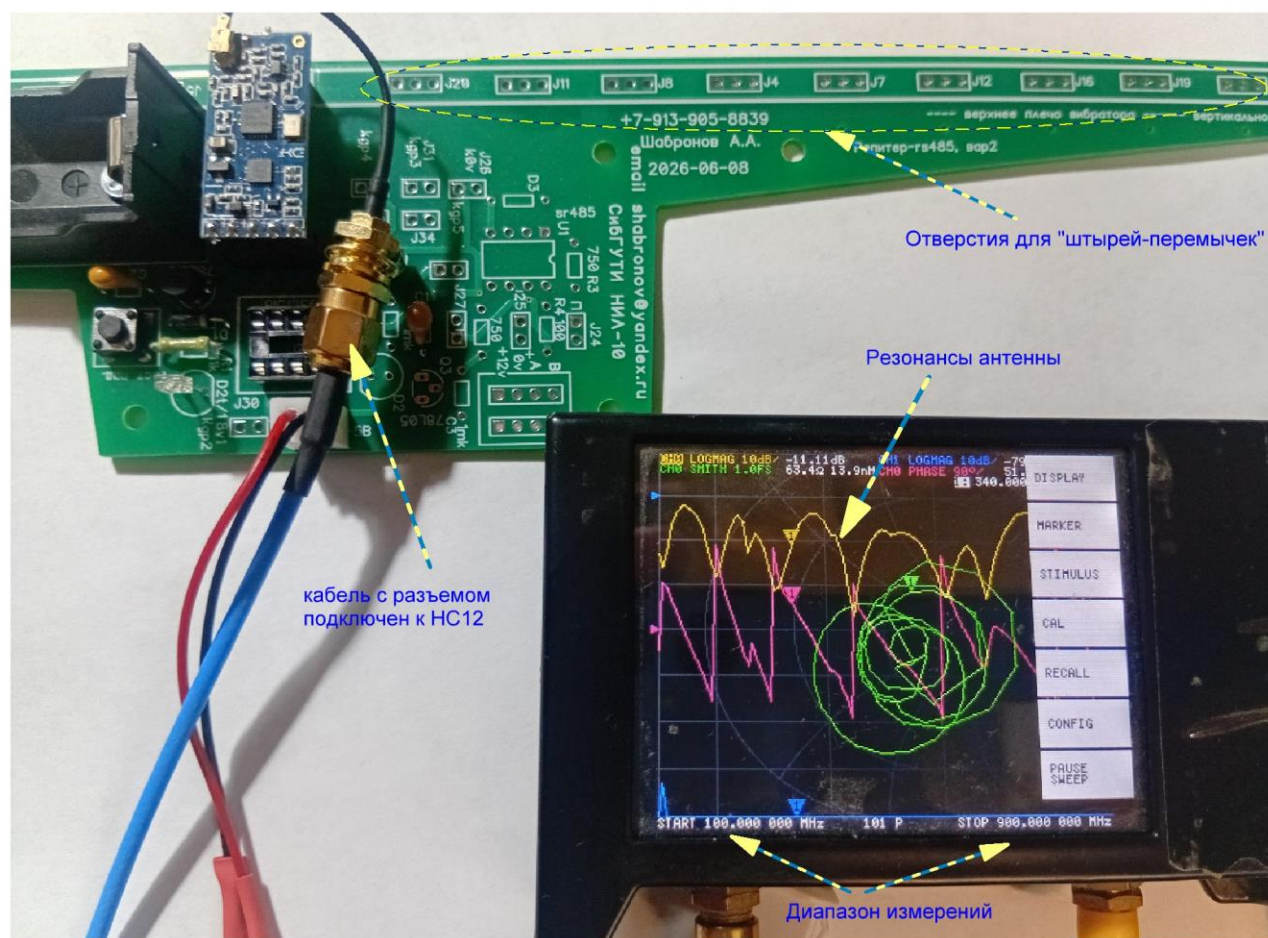


Рисунок 2. Векторная характеристика антенны

Из векторной характеристики видно, что конструкция с двухслойной поверхностью и перемычками формирует много резонансов, которые смещаются при различных вариантах замыканий. Проверка показала, что даже без пайки штырей замыкание двух перемычек любым доступным способом, например, зажимом типа «крокодил», сдвигает векторную диаграмму на 2-5 МГц. Выбор количества «штырей-перемычек» определялся эмпирическим путем. Одна или две перемычки в середине четверти длины вибратора – мало, т.к. не будет необходимого эффекта настройки. Сплошное заполнение «штырей-перемычек» - резко увеличивало

количество резонансов. Выбрано такое количество, при котором замыкание сдвигало резонансы КСВ антенны не более чем на 2-5 МГц.

Таким образом, если антенну настроить в резонанс с помощью перемычек, можно получить лучший результат и увеличить дальность связи.

2. Настройка антенны

При наличии прибора для измерения уровня мощности сигнала, например, анализатор спектра NanoVNA [5], цель процесса настройки заключается в получении максимального уровня амплитуды сигнала спектра, как показано на рисунке 3.

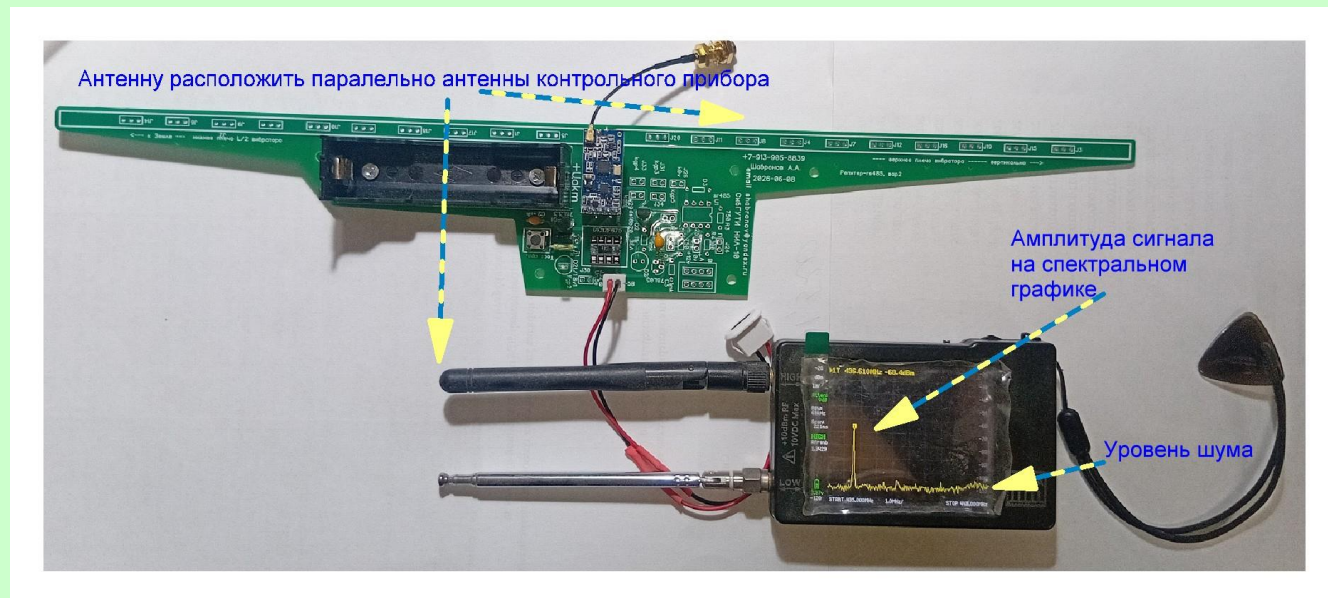


Рисунок 3. Настройка антенны по анализатору спектра

Репитер и модуль HC12 включаются в тестовый режим для передачи сигнала теста. По этому сигналу уровни регулируются переключками. Репитер с модулем HC12 требуется удалить на несколько сот метров от анализатора спектра. Анализатор следует подключить к удаленному доступу через локальную сеть или включить режим видеосвязи, и камеру направить на экран анализатора. Дальнейшие действия заключаются в выборе и установке переключек для получения максимальной амплитуды.

Удобно действовать по методу дихотомии, т.е. сначала одна переключка определяется примерно в середине четверти длины вибратора. Места размещения следующих переключек определяются в двух оставшихся половинках и так далее. Следует учесть и окружающее пространство - проконтролировать зоны «теней» или сильных электромагнитных полей, например, от трансформаторных подстанций или блоков управления приводов электродвигателей и т.п.

Другой вариант настройки антенны выполняется по методу передачи сигнала по шлейфу. Поскольку модули HC12 - это приемо-передатчики и имеют возможность устанавливать разные уровни мощности излучения, необходимо определить самый низкий уровень передачи, при котором связь становится неустойчивой. Для этого включается тестовый режим запрос-ответ [6,7] в программе мониторинга и контролируется прохождение пакетов. Затем уровень сигнала передатчиков уменьшается, и снова проверяется прохождение пакетов.

На некотором уровне пакеты будут проходить с ошибками и в этом случае, замыкая переключателями антенну, добиваемся уменьшения ошибок и, таким образом, настраиваем антенну.

Данный способ позволяет оценить и запас по мощности, и устойчивость связи. Если связь работает при половинной мощности передатчика, то при полной разрешенной мощности связь будет гарантирована.

Если есть в наличии приемник SDR [8] требуемого диапазона, то он может работать как анализатор спектра и также помочь в настройке антенны. На рисунке 4 представлены спектры сигналов при разных режимах излучения модуля HC12.

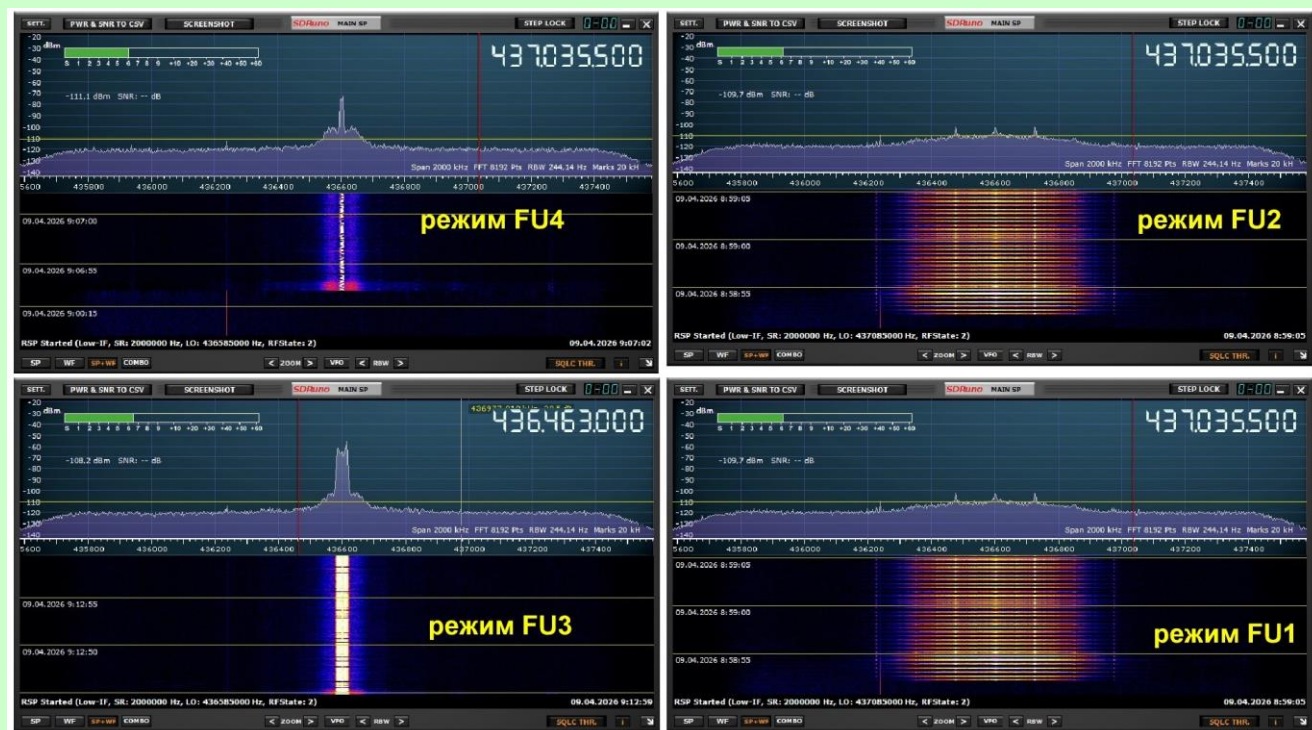


Рисунок 4. Вид спектра передаваемых сигналов для режимов FU1-4

Модуль HC12 может работать в широком диапазоне излучения, т.к. предусмотрены скорости передачи от 1,2 кбод до 115 кбод. Для настройки необходимо выбрать самый «узкий» режим спектра передачи FU4.

3. Изготовление и применение антенны

Антенна выполнена на печатной плате совместно с печатной трассировкой используемых модулей HC12 и другими элементами схемы репитера термометрии.

Принципиальная схема (файл `sh_RPT_PK_rs485_barabinka.dch`), печатная плата (файл `sh_RPT_PK_rs485_barabinka.dip`) подготовлены в редакторе DIP-TRACE и находятся в программе каталога [6,7].

Управление и тестирование репитера осуществляется с помощью программы на языке Форт [9,10], файл которой находится в указанном каталоге.

Для получения файлов конструкции антенны в режиме командной строки следует выполнить файл приложения с цифрой 3. Сформируется каталог со всеми данными для последующей модернизации программы, а также файлы конструкции антенны и другой помощи

по программе. В каталоге ...\\test_monsys_exe\dop_files\ находится архив со схемой и печатной платой антенны **sh_RPT_PK_rs485_barabinka.zip**. Другие файлы предназначены для работы системы термометрии элеватора и репитеров.

Данная конструкция антенны применена на промышленном объекте – элеваторе. Расположение антенных шкафов с репитерами представлено на рисунке 5. Показан слева шкаф на улице, в середине второй шкаф с антенной внутри на стене верхней галереи элеватора и справа антенна и РПТ внутри шкафа. Между этими шкафами обеспечена связь для термометрии корпуса элеватора. Шкаф на улице вторым направлением связан с другим модулем и антенной также по радиоканалу. Такое расположение позволило «обойти» радиоканалу крупный металлический корпус – «зерно-сушильный» комплекс для формирования системы термометрии элеватора.



Рисунок 5. Вид антенных шкафов на элеваторе

4. Заключение

Схема и конструкция антенны на печатной плате предназначены для уменьшения затрат на монтаж и увеличение надежности системы термометрии элеватора при эксплуатации. Все элементы доступны без специальных высотных допусков, что повышает безопасность и ремонтопригодность системы термометрии.

Настройка антенны, проверка качества радиоканала возможна без специальных приборов или принадлежностей и доступна техническому персоналу объекта.

Литература

1. Антенны 433 МГц [Электронный ресурс]. URL: <https://altonika.su/Антенны-433-МГц> (дата обращения: 3.09.2026).
2. Шкафы «радиопрозрачные» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.etm.ru/cat/nn/6903219> (дата обращения: 3.09.2026).
3. Модуль HC12-USB [Электронный ресурс]. URL: https://avrproject.ru/112/rf_hc12/2016-01-14_122335_HC-12_v2.3B.pdf?ysclid=mtkz7f6uuu642069318 (дата обращения: 3.09.2026).
4. Векторный анализатор TinySA [Электронный ресурс]. URL: https://supereyes.ru/img/instructions/tinysa_basic_ultra_manual.pdf?ysclid=mtlbpb416509518644 (дата обращения: 3.09.2026).

5. Анализатор спектра NanoVna [Электронный ресурс]. URL: <https://forpes.ru/post/159050?ysclid=mtlbrymx9780444063> (дата обращения: 3.09.2026).
6. Программа с тестами и конструкцией антенны на сайте автора [Электронный ресурс]. URL: http://90.189.213.191:4422/doc_sh/barabinsk2023_nso_elevator_v1/test/ (дата обращения: 3.09.2026).
7. Программа с тестами и конструкцией антенны в «облаке» [Электронный ресурс]. URL: <https://disk.yandex.ru/d/vhRwZHf-HRwyYQ> (дата обращения: 3.09.2026).
8. Приемник SDR-RTL [Электронный ресурс]. URL: <https://ssl-team.com/blog/kak-rabotaet-sdr-priemnik/?ysclid=mtlbtw0tb723058954> (дата обращения: 3.09.2026).
9. Язык программирования Forth [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SP-Forth> (дата обращения: 3.09.2026).
10. Язык программирования без синтаксиса [Электронный ресурс]. URL: https://www.chernyshov.com/ZP/ZP_forth.pdf (дата обращения: 3.09.2026).

Шабронов Андрей Анатольевич

Старший преподаватель кафедры ТЭ СибГУТИ, тел. +7-913-905-8839,

e-mail: shabronov@yandex.ru

Increasing the coverage range of a 433 MHz radio channel using a tunable printed antenna

Shabronov A.A.

This paper presents the design and principle of tuning an antenna on a printed circuit board as part of a data repeater circuit operating over a 433 MHz radio channel. The antenna is designed to work in a grain thermometry system at vertical storage elevators.

The proposed antenna design includes structural jumpers that are used to adjust the optimal impedance matching, thereby increasing the communication coverage range. The antenna design is optimized for tuning on site without special instruments and has no threaded or cable connections.

Practical testing showed an increase in the radio communication coverage area by 2–3 times compared to the shortened pin “spiral” antenna supplied for the HC12 in the 433 MHz band.

Keywords: printed antenna, VSWR, 433 MHz, HC12