

УДК 621.382.004.14

Н.П. Кандырин¹, А.В. Костянец², В.А. Лошаков²

¹Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков

²Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Приведены результаты экспериментальных исследований и сформулированы рекомендации по использованию малогабаритных радиолокационных измерителей дальности при замере уровня сыпучих материалов в технологических емкостях. Рассмотрены принципы построения, работы, а также возможности использования радиолокационных измерителей для автоматизации технологических процессов.

радиолокационный измеритель уровня, импульсный метод, фазовый метод, частотный метод

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время остро стоит необходимость создания недорогих, малогабаритных устройств, способных измерять уро-

вень загрузки сыпучих материалов в технических емкостях [1, 2]. Примером тому могут служить элеваторы, различные башни в производстве строительных материалов, в коксохимическом производстве и т.п.

Кроме того, на предприятиях химической промышленности в силу технологических процессов происходит выделение вредных для обслуживающего персонала химических соединений, что подтверждает важность создания автоматизированных комплексов, позволяющих производить бесконтактный контроль процессов загрузки различных сыпучих материалов.

Для измерения расстояния до поверхности сыпучих материалов в технических емкостях возможно применение акустических и оптических датчиков [1, 2]. Однако их точностные характеристики в значительной степени зависят от состояния окружающей среды (запыленность, высокая влажность и т.п.), а значит, на практике их использование не всегда является целесообразным. Использование же СВЧ датчиков позволяет исключить недостатки, свойственные оптическим и акустическим устройствам. Поэтому исследование возможностей использования радиолокационных методов измерения уровня в технологических процессах является актуальной задачей.

Анализ литературы. Возможности акустических, оптических и СВЧ датчиков уровней сыпучих материалов в технических емкостях нашли отражение в ряде работ [1 – 3]. Показано, что характеристики СВЧ датчиков в наименьшей степени зависят от свойств среды, в которой они находятся. Особый интерес представляет создание устройства по непрерывному бесконтактному контролю уровня шихты в башне при производстве кокса. Запыленность в технологической башне ограничивает возможность использования бесконтактных измерительных устройств, и до настоящего времени не создано измерительное устройство, позволяющее непрерывно контролировать технологический процесс загрузки шихты в башню. Следовательно, разработка рекомендаций по внедрению радиолокационных методов и устройств измерения уровня загрузки сыпучих компонентов в технологические емкости, в частности, при производстве кокса является актуальной задачей.

Целью статьи является разработка рекомендаций по построению и применению радиолокационных измерителей дальности для определения уровня загрузки сыпучих материалов в технологических емкостях.

Результаты исследований

Известны различные методы измерения и схемы построения радиолокационных измерителей. В зависимости от параметра сигнала, содержащего информацию о дальности, различают три основных метода измерения дальности: импульсный, фазовый и частотный [4]. Импульсный метод основан на непосредственном измерении времени запаздывания принимаемого радиоимпульса относительно излученного. Основными достоинствами импульсного метода являются: возможность развязки передающего и приемного трактов с помощью антенного переключателя, позволяющая строить РЛС с одной

антенной; простота определения дальности. Недостатки: необходимость использования относительно больших импульсных мощностей передатчиков; сложность обеспечения работы на малых дальностях (единицы, десятки метров), связанная с необходимостью укорочения зондирующих импульсов до единиц наносекунд.

Фазовый метод основан на измерении разности фаз излучаемых и принимаемых колебаний. Достоинства фазового метода: малая мощность генерируемых колебаний, поскольку используется непрерывное излучение; возможность измерения малых дальностей; простота измерителя. Недостатки: неоднозначность измерения дальности в СВЧ диапазоне.

При частотном методе излучается квазинепрерывный сигнал, частота которого изменяется по линейному закону (ЛЧМ). Дальность при этом определяется по частоте биений между излучаемым и принимаемым сигналами согласно выражения

$$R = \frac{c}{2\beta} F_{\text{б}}, \quad (1)$$

где c – скорость света; $\beta = \Delta F / \tau_{\text{и}}$ – скорость частотной модуляции; ΔF – девиация частоты сигнала; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса; $F_{\text{б}}$ – частота биений. Как видно из (1), точность измерения дальности не зависит от начальной частоты и определяется лишь точностью установки девиации частоты, длительности импульса и точностью измерения частоты биений.

Основные достоинства частотного метода: малая мощность зондирующего сигнала, относительная простота обеспечения высокой разрешающей способности по дальности. Недостаток – высокие требования к линейности изменения частоты. В соответствии с вышеизложенными методами, для решения поставленной задачи выбран частотный метод. Структурная схема предлагаемого измерителя уровня приведена на рис. 1, а его внешний вид – на рис. 2, где

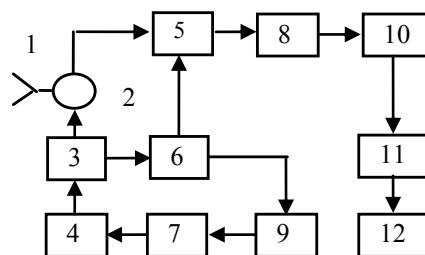


Рис. 1. Структурная схема измерителя уровня

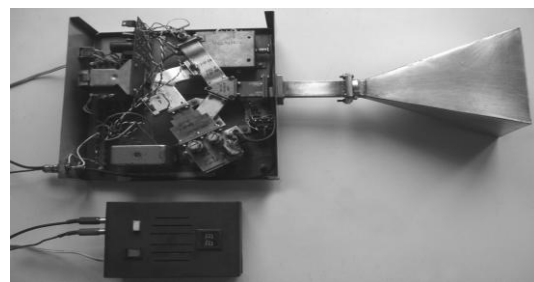


Рис. 2. Внешний вид измерителя уровня

приняты следующие обозначения: 1 – антенна; 2 – циркулятор; 3 – первый направленный ответвитель; 4 – генераторный диод (лавинно-пролетный диод); 5 – смеситель; 6 – аттенюатор; 7 – управляющий элемент (варикап); 8 – усилитель; 9 – блок формирования управляющего сигнала; 10 – фильтр низкой частоты; 11 – блок компаратора и микропроцессорного устройства; 12 – устройство индикации.

Источником СВЧ колебаний является генератор волноводной конструкции на лавинно-пролетном диоде (ЛПД) 4. СВЧ генератор перестраивается по частоте с помощью управляющего частотой элемента – варикапа 7. Сигнал управления на варикап подается от устройства коррекции управляющего напряжения 9.

При управлении частотой с помощью варикапов форма частотных настроечных характеристик (ЧНХ) диодных генераторов волноводной конструкции определяется характером зависимости барьерной емкости $p-n$ перехода варикапа от величины приложенного запирающего напряжения [5]

$$C_{\text{ВАР}}(\Delta U) = C_{\text{В0}} \left(1 + \frac{\Delta U}{\Phi_{\text{к}} + U_0} \right)^{-\gamma}, \quad (2)$$

где $C_{\text{В0}}$ – емкость варикапа при начальном смещении U_0 ; $\Phi_{\text{к}}$ – контактная разность потенциалов; $\gamma = 1/2$ для резкого $p-n$ перехода и $\gamma = 1/3$ для плавного.

С учетом (2) зависимость частоты автогенератора от управляющего напряжения ΔU в первом приближении определяется выражением

$$f[\Delta U] \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_{\text{кс}} + C_{\text{вар}}(\Delta U))}}, \quad (3)$$

где L и $C_{\text{кс}}$ – индуктивность и емкость колебательной системы. График этой зависимости изображен на рис. 3.

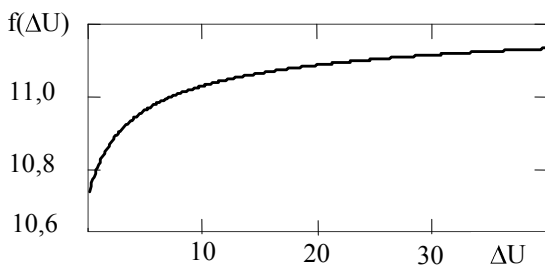


Рис. 3. Зависимость изменения частоты УГ от напряжения на варикапе

Поскольку ЧНХ управляемого генератора (УГ) нелинейная (рис. 3), то для получения линейной зависимости частоты выходных колебаний необходимо сформировать скорректированное управляющее напряжение специальной формы. Наиболее широкими возможностями по формированию таких напряжений, необходимых для компенсации модуляционных искажений, вызванных нелинейностью ЧНХ управляемых генераторов, обладают цифровые методы формирования [5]. В качестве такого устройства может быть использован цифровой форми-

рователь табличного типа [6], в память которого записаны коды значений требуемого напряжения. Это позволит учитывать и компенсировать влияние нелинейности ЧНХ управляемого генератора и его инерционности как объекта управления. Внешний вид табличного формирователя напряжения специальной формы, используемого при экспериментальных исследованиях, показан на рис. 4.

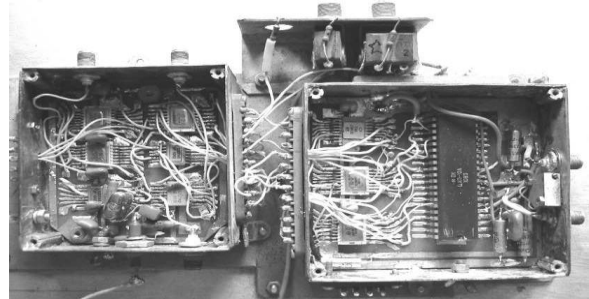


Рис. 4. Внешний вид формирователя напряжения специальной формы

Принцип действия предлагаемого радиолокационного измерителя трехсантиметрового диапазона волн заключается в следующем. Линейно частотно модулированное (ЛЧМ) СВЧ колебание через направленный ответвитель 3 и циркулятор 2 поступает в антенну 1 и излучается в пространство. Отраженная от облучаемой поверхности волна принимается антенной и, пройдя через циркулятор 2, поступает на балансный смеситель 5. Гетеродинным сигналом для балансного смесителя является СВЧ колебание, ответвляемое из тракта передачи с помощью направленного ответвителя 3, амплитуда которого регулируется с помощью аттенюатора 6. С выхода балансного смесителя 5 сигнал поступает на малошумящий усилитель 8 и после усиления – на фильтр низких частот (ФНЧ) 10, который выделяет сигнал разностной частоты.

Зная параметры формируемого колебания (ΔF и τ_c), а также расстояние до поверхности (1...20 м), можно определить частоты биений отраженного сигнала (1) на выходе балансного смесителя 5. Расчеты показали, что они находятся в пределах 10...400 Гц. Таким образом, за длительность сигнала в 100 мс на выходе смесителя будет наблюдаться от 1 до 40 периодов колебаний. Сигнал на выходе ФНЧ представляет собой низкочастотное колебание, в котором число периодов пропорционально расстоянию до облучаемой поверхности. Усиленные и отфильтрованные колебания (рис. 5) поступают в блок компаратора и микропроцессорного устройства 11, где они преобразовываются в импульсы прямоугольной формы с последующим подсчетом количества периодов частоты биений за время импульса частотной модуляции и выдачей информации на индикаторное устройство 12. Устройство индикации отображает информацию об уровне загрузки сыпучих материалов в технических емкостях уже непосредственно в метрах. Для документирования результатов измерений уровня сыпучих материалов,

например шихты, при загрузке или выгрузке из емкости в течение какого-то времени измеритель может сопрягаться с персональной ЭВМ.

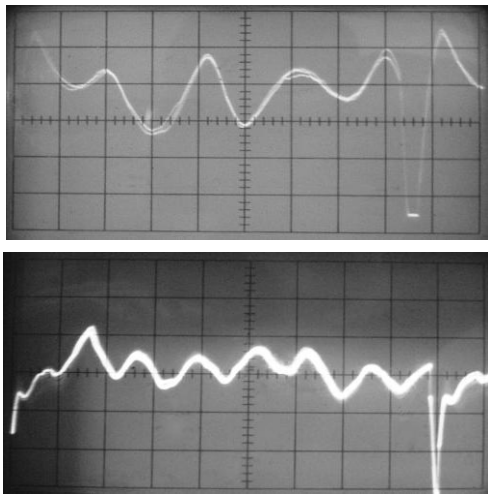


Рис. 5. Частота биений на выходе ФНЧ при различных дальностях до поверхности

Основные технические параметры радиолокационного измерителя приведены в табл. 1.

Таблица 1
Основные технические характеристики измерителя уровня

Основные параметры	Ед. измерения
Пределы измерения уровня, м	1 – 20
Точность измерения, м	не хуже $\pm 0,15$
Девияция частоты зондирующего сигнала, МГц	100 – 600
Мощность излучаемого сигнала, мВт	≤ 60
Питание от сети, В	220
Температура окружающей среды, 0С	- 30 ÷ + 50
Габаритные размеры, мм	310 × 420 × 120

Конструктивно измеритель уровня шихты состоит из двух блоков, блока СВЧ и устройства индикации. СВЧ блок размещался в верхней части башни, в которой контролируется уровень шихты. Его волноводная система с рупорной антенной, устройством коррекции управляющего напряжения, малошумящим усилителем выполнены на одном шасси (рис. 2), которое располагается внутри герметизированного кожуха. Микропроцессорное устройство и индикатор устанавливаются на центральном пульте управления технологическим процессом. Блоки между собой соединяются кабелем.

Экспериментальные исследования радиолокационного измерителя проводились в башне для производства кокса при определении уровня загрузки угольной шихты. Процесс испытаний проводился измерением уровня загрузки в башню для различных значений девиации частоты зондирующего сигнала при расстоянии до кромки шихты 8,2 м. Результаты этих измерений сведены в табл. 2. Сравнение экспериментальных данных, приведенных в табл. 2, показывает хорошее совпадение результатов

измерения предлагаемого измерителя при определении уровня шихты в башне, особенно при увеличении девиации сигнала до 500 – 600 МГц.

Таблица 2
Зависимость результатов измерения для различных значений девиации частоты

Девияция частоты, МГц	Разрешающая способность, м	Результаты экспериментальных измерений, м
100	1,5	9,0
200	0,75	8,5
300	0,5	8,0
400	0,375	8,25
500	0,30	8,1
600	0,25	8,25

Поэтому данный радиолокационный измеритель уровня может быть рекомендован к использованию для непрерывного контроля бесконтактным способом уровня заполнения и расхода сыпучих материалов в технологических емкостях.

Выводы

Разработан радиолокационный измеритель уровня загрузки сыпучих материалов в технологических емкостях. Экспериментально подтверждено возможность использования предложенного измерителя для непрерывной оценки с необходимой точностью уровня загрузки шихты при производстве кокса, что способствует решению задачи автоматизации технологического процесса. Данный измеритель может быть использован и для контроля других сыпучих материалов, в частности, при производстве строительных материалов, а также при контроле загрузки элеваторов зерном.

Список литературы

1. Викторов В.А., Лупнин Б.В., Совлунов А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат 1989. – 320 с.
2. Перегонов С.А. Перспективы массового применения СВЧ-устройств // Электронная техника. Сер. 1: Электроника СВЧ. – 1987. – Вып. 9. – С. 55-60.
3. Радиолокационный датчик уровня / А.В. Потапов, В.А. Париков, Ю.Н. Кузнецов и др. // Электронная техника. Сер. 1: Электроника СВЧ. – 1991. – Вып. 8. – С. 51-53.
4. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – Х.: ВИРТА, 1984. – 230 с.
5. Лошаков В.А., Попиль А.К., Вохминцев С.В. Способы снижения модуляционного воздействия шумов активных элементов управляемых автогенераторов на параметры генерируемых колебаний // Сборник научных трудов ХВУ. – Х.: ХВУ, 1995. – Вып. 6. – С. 37-41.
6. А.С. 1552345 (СССР). Цифровой синтезатор частотно-модулированных сигналов / В.И. Гомозов, Н.П. Кандырин, Ю.М. Романов, Н.А. Михайлов. – Опубл. Б.И. – 1990. – № 11.

Поступила в редколлегию 11.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук проф. А.В. Полярус, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.