

## ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Шмаков (ООО "Сименс")

*Рассмотрены традиционные контактные и бесконтактные методы измерения сыпучих материалов; ограничения в применении традиционных радарных уровнемеров. Представлены уровнемеры Sitrans LR260 и Sitrans LR460, разработанные компанией Siemens, осуществляющие измерения на частоте 24 ГГц.*

*Ключевые слова: измерение уровня сыпучих материалов, радарный уровнемер, бесконтактный метод измерения, эхо сигнала, антенна.*

Радарные (или микроволновые) приборы измерения уровня используются в различных отраслях промышленности, начиная с середины 70-х годов XX века. Первоначально эта бесконтактная технология применялась для коммерческого учета нефти и нефтепродуктов, где требовалась высокая точность измерения. Применяемые в то время приборы были достаточно дорогими и громоздкими. Сравнительно недавно с развитием технологий и снижением стоимости приборов, радарные методы измерения уровня стали использоваться для решения широкого круга задач и в других отраслях.

В RADAR технологии (Radio Detection And Ranging) используются электромагнитные волны спектра 1...300 ГГц. Электромагнитные волны движутся со скоростью света. Скорость не зависит от среды прохождения волн: наличия газов, испарений, изменений давления, температуры и т.д. Это свойство вместе с возможностью реализации бесконтактного метода измерения обеспечили широкое применение радарной технологии в приборах измерения уровня.

Однако для измерения уровня сыпучих продуктов приборы должны быть разработаны со специальными характеристиками, позволяющими применять их именно для сыпучих сред. Приборы, работающие надежно при измерении уровня жидкости часто совершенно неработоспособны при измерении уровня сыпучих материалов. Это происходит из-за того, что измерение уровня сыпучих материалов требует специальных методов и подходов.

Задача измерения уровня жидкостей в емкостях хранения представляет собой относительно простую задачу. Большая и плоская отражающая поверхность жидкости обеспечивает отличные условия для отражения волн. Пространство над жидкостью, как правило, "спокойное". И наоборот, условия при измерении уровня сыпучих продуктов, представляют собой сложную задачу, где требуется учитывать различную динамику поверхности продукта, значительную массу продукта при наполнении и различные внутренние конструкции, мешающие прохождению волн. В зависимости от измеряемого материала поверхность при загрузке/выгрузке продуктов может быть как плоской и ровной (например, при хранении цемента), так и неровной (под значительным углом) (например, при хранении угля). При хранении сыпучих материалов в высоких и узких емкостях масса загруженного продукта может достигать нескольких тонн. Такая масса может вызвать обрыв кабелей или повреждение каких-то движущихся частей механизмов внутри емкости. Трубы аспирации, загрузочные патрубки, высокие

акустические и электрические шумы также создают значительные проблемы при измерении уровня сыпучих материалов. Поэтому неудивительно, что многие заказчики все еще измеряют уровень сыпучих материалов вручную, с использованием веревки и груза (рис. 1).

### Контактные методы измерения уровня

Часто для измерения уровня сыпучих материалов используются контактные способы измерения уровня с помощью различных кабельных систем. Однако трение и значительная масса материала в емкости могут привести к сильному натяжению или даже обрыву кабеля. При обрыве части кабеля могут попасть в продукт, что часто является недопустимым.

Для рефлекс-радарных (TDR) и емкостных уровнемеров нижняя часть кабеля должна быть прикреплена ко дну емкости, чтобы кабель не перемещался во время загрузки/выгрузки материала. Если кабель касается стенки емкости, измерение уровня будет неправильным. Длина кабеля должна быть точно рассчитана под высоту емкости, чтобы кабель был гарантированно натянут. Однако, если кабель натянут слишком сильно, это может привести к обрушению крыши емкости. При монтаже кабельных уровнемеров необходимо дождаться пока емкость не будет полностью пустой, чтобы закрепить нижний конец кабеля. Иногда, вместо жесткого крепления для натяжения кабеля используют груз. Но в этом случае для натяжения кабеля требуется полностью опорожнить емкость. В механических системах измерения уровня сыпучих материалов с помощью веревки с грузом часто имеет место обрыв веревки и потеря груза из-за турбулентности поверхности среды. В таких случаях возможно блокирование или выход из строя систем и механизмов, установленных под емкостью, что может привести к недопустимому останову ТП.



Рис. 1

### Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые бесконтактные приборы измерения уровня продолжают оставаться наиболее дешевым и распространенным оборудованием для измерения уровня сыпучих материалов. Ультразвуковые волны хорошо отражаются от поверхности сыпучих сред. Ультразвуковые системы измерения уровня используют акустические волны с частотой 5...60 кГц. Как правило, приборы с высокой частотой применяются для измерения уровня жидкостей. Высокая частота позволяет использовать сенсор меньшего размера для небольших диапазонов и получать высокую точность измерения уровня. Несмотря на то, что высокая частота является предпочтительной при измерении уровня сыпучих материалов из-за лучших отражающих свойств от наклонной поверхности, применение ультразвуковых уровнемеров на сыпучих материалах ограничено небольшими диапазонами измерения. Для больших диапазонов (>20 м) рекомендуется применять ультразвуковые уровнемеры, работающие на низкой частоте. Наличие пыли внутри емкости приводит к ослаблению сигнала высокой частоты. Сигнал низкой частоты менее подвержен рассеиванию из-за наличия пыли. Аналогично, ранее в деревнях в зимнее время в случае метели звонили в большие колокола с низкой частотой, так как акустический сигнал низкой частоты распространяется на большие расстояния по сравнению с сигналом высокой частоты.

Однако применение ультразвуковых уровнемеров, даже работающих на низкой частоте, ограничено в случаях высокого запыления внутри емкости. При высоком запылении, даже при излучении сигнала низкой частоты, акустические волны рассеиваются и уровнемер не может получить сигнал, отраженный от поверхности материала. В таких случаях могут быть применены только радарные приборы измерения уровня.

### Ограничения в применении традиционных радарных уровнемеров

Микроволновый спектр занимает полосу частот 1...300 ГГц. Большинство производителей, выпускающих радарные уровнемеры, используют при проектировании приборов частоту 6...26 ГГц. Первые радарные уровнемеры работали на частоте 10 ГГц. Данная частота широко используется и сейчас при проекти-

ровании и производстве радарных уровнемеров. Низкочастотные радарные уровнемеры работают на частотах близких к 6 ГГц, а высокочастотные, как правило, на частоте 24 ГГц. При одинаковой амплитуде излучаемого сигнала низкочастотные радарные уровнемеры требуют применения антенны большего диаметра, чем высокочастотные. Например, уровнемер, работающий на частоте 6 ГГц, требует установки антенны диаметром 400 мм, чтобы получить такую же мощность выходного сигнала, как 24 ГГц уровнемер с антенной диаметром 100 мм (рис. 2).

Низкочастотные традиционные радарные уровнемеры применяются в основном для измерения уровня жидкостей. Применение их для задач измерения уровня сыпучих продуктов требует установку рупорной антенны диаметром 250 мм или даже параболической антенны для получения сигнала значительной мощности. Приборы с антенной такого большого размера часто очень трудно установить на реальных емкостях. Как правило, имеющиеся на емкостях отверстия слишком малы для установки таких приборов и очень часто требуются значительные затраты для подготовки места установки. Если же без изготовления отверстия под установку прибора не обойтись, гораздо проще сделать в крыше небольшое отверстие, особенно если емкость сделана из цемента. Таким образом, благодаря небольшим размерам антенны и простой установке радарные уровнемеры, работающие на высокой частоте, являются более предпочтительными при измерении уровня сыпучих продуктов.

### 24 ГГц – идеальная частота для измерения уровня сыпучих продуктов

Емкости хранения сыпучих продуктов различаются по форме и размерам. Емкости, собранные из секций, имеют стыки, которые могут создавать ложные сигналы при работе уровнемеров. Расположенные внутри емкости лестницы, люки, решетки, сигнализаторы максимального и минимального уровня, подающие патрубки и т.п. также являются источниками ложных сигналов при измерении уровня. Очень часто для хранения сыпучих продуктов используются высокие (высотой до 50 м) и в тоже время узкие емкости, где возможны проблемы с распространением сигнала. Для всех этих ситуаций узкий угол излучения является предпочтительным для снижения ложных отражений от стенок и конструкций внутри емкости. У высокочастотных радарных уровнемеров угол излучения значительно уже, чем у низкочастотных. Например, у радарного уровнемера с рупорной антенной диаметром 100 мм, работающего на частоте 24 ГГц, угол излучения составляет всего 9° по сравнению с углом 36° у уровнемера, работающего на частоте 6 ГГц с антенной того же диаметра.

Таким образом, узкий угол излучаемого сигнала, возможность установки в отверстия небольшого диаметра практически в любом месте емкости, небольшая антенна – все эти факторы подтверждают пре-

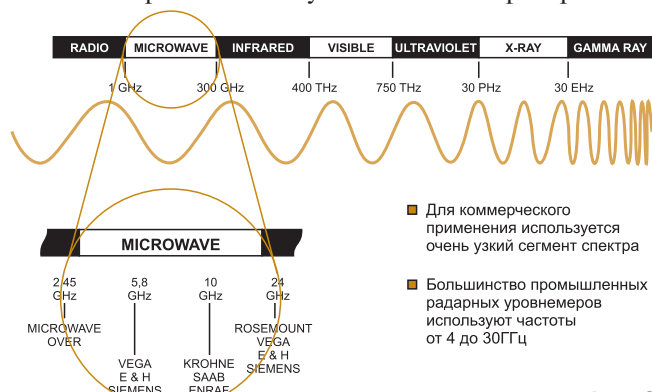


Рис. 2

имущество использования уровнемеров, работающих на высокой частоте при измерении уровня сыпучих материалов. Другим чрезвычайно важным преимуществом высокочастотных уровнемеров являются уникальные отражающие свойства от поверхности сыпучих продуктов. Как правило, поверхность сыпучих продуктов не бывает плоской, как у жидкостей. Электромагнитные волны, отражаясь от наклонной поверхности сыпучего материала, могут отражаться как вертикально вверх, так и в стороны (так называемый эффект рикошета). При отражении в стороны на графике отраженного эхо появляется еще один сигнал, который накладывается на сигнал реального уровня, и мы видим два сигнала вместо одного. В этом случае при измерении уровня показания прибора постоянно меняются в пределах 2...3 см. Эффект рикошета особенно характерен для уровнемеров работающих на низкой частоте.

Использование частоты 24 ГГц гарантирует, что большая часть сигнала отражается вертикально вверх, исключая возникновения эффекта рикошета (рис. 3).

При измерении уровня сыпучих продуктов, особенно для высоких емкостей или в случае высокой запыленности, мощность сигнала отраженного от поверхности может быть очень малой из-за рассеивания сигнала. Кроме того, любая неровная поверхность (в случае наклонной поверхности) будет дополнительно уменьшать мощность отраженного сигнала. По этой причине применение приборов с высокой мощностью излучаемого сигнала является предпочтительным на сыпучих материалах, особенно для больших диапазонов измерения. Именно поэтому для емкостей высотой до 30 м компания Siemens предлагает применять уровнемеры Sitrans LR260, а высотой выше 30 м — радарный уровнемер Sitrans LR460. В уровнемере Sitrans LR260 используется двухпроводная схема подключения, когда питание прибора и выходной сигнал подаются по одной паре проводов. Максимальный диапазон измерения у Sitrans LR260 составляет 30 м. Максимальный диапазон измерения у уровнемера Sitrans LR460 равен 100 м. В этом приборе используется четырехпроводное подключение, когда питание прибора и выходной сигнал разделены друг от друга. Такая схема подключения гарантирует получение достаточно мощного отраженного сигнала на больших диапазонах измерения.

### Обработка сигнала

Независимо от выбранного принципа измерения ПО обработки эхо сигнала является очень важным для правильного и надежного измерения уровня. Решения по обработке эхо сигнала при измерении уровня жидкостей более-менее стандартны и достаточно просты из-за хорошей отражающей поверхности жидкостей. Большая и плоская поверхность гарантирует большую амплитуду сигнала, отраженного от жидкости, и достаточно простой для обработки эхо профиль. Эта задача очень похожа на то, как легко

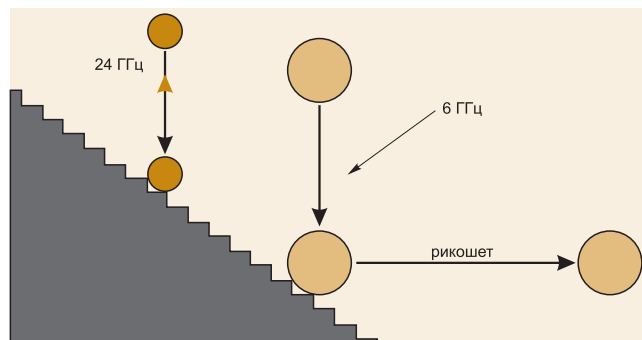


Рис. 3

можно увидеть свое отражение в воде большого спокойного озера. И, конечно, гораздо сложнее получить хороший отраженный сигнал и точно измерить расстояние до постоянно меняющейся поверхности в центре бушующей песчаной бури. По этой причине радарные уровнемеры, разработанные для жидкостей и установленные для решения задач измерения уровня сыпучих материалов, очень часто терпят фиаско. Профиль отраженного эхо сигнала от постоянно меняющейся, нерегулярной поверхности сыпучего материала требует других решений и подходов в алгоритмическом обеспечении по сравнению с измерением уровня жидкостей. Уровень помех на графике эхо сигнала будет различным в зависимости от режимов работы: при наполнении емкости из-за высокой запыленности уровень помех будет гораздо выше, чем при ее разгрузке. При этом чрезвычайно важно, чтобы ПО прибора автоматически подстраивалось к изменяющимся условиям ТП.

Очень часто емкости для хранения сыпучих материалов имеют коническое дно для обеспечения равномерного потока материала при разгрузке. Однако это создает большие проблемы для работы многих уровнемеров из-за высокой неравномерности поверхности материала. Множественные отражения, слабый отраженный сигнал, ложные эхо сигналы от конструкций внутри емкости — все эти факторы влияют на надежность и точность измерения уровня. Измерительный прибор должен отфильтровывать все ложные сигналы и обеспечивать правильное измерение уровня материала.

Решением всех этих проблем является запатентованное ПО Process Intelligence, установленное в приборах Sitrans LR260 и Sitrans LR460. Это ПО разработано специалистами компании Siemens Milltronics на основании решений более чем 1 млн. практических задач по измерению уровня. Основываясь на практическом 20-летнем опыте, ПО Process Intelligence позволяет решать сложные задачи по устранению ложных эхо сигналов, фильтрации помех, точному и надежному измерению уровня. ПО Sonic Intelligence включает специальные алгоритмы обработки отраженного эхо, функции усреднения многократных отражений, функцию устранения ложных эхо отражений и т.д. Кроме того, для простоты пуска в эксплуата-



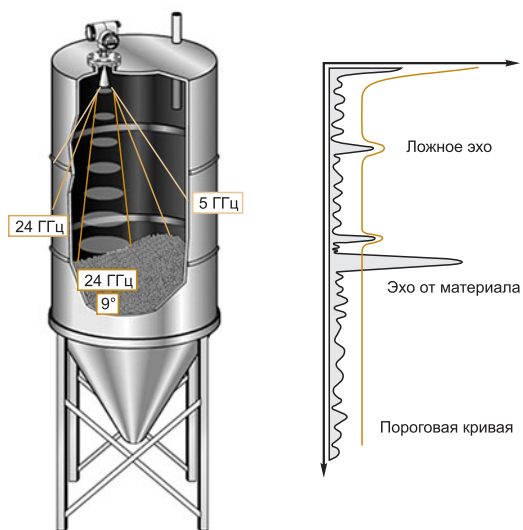


Рис. 4. Пример устранения ложных эхо сигналов

тацию в Sonic Intelligence встроена функция Quick Start, которая обеспечивает работу с прибором в режиме plug-n-play (рис. 4).

#### "Нацеливание" антенны

Применение высокой частоты 24 ГГц гарантирует оптимальные отражающие свойства от неравномерной поверхности. Однако возможно еще более улучшить характеристики отраженного сигнала за счет "нацеливания" антенны уровнемера (рис. 5).

Естественно, во время загрузки/выгрузки угол наклона материала будет меняться. Однако "нацеливание" уровнемера на центр отверстия для выгрузки обеспечивает хорошие отражающие свойства во всем диапазоне измерения. Уровнемеры Sitrans LR260 и Sitrans LR460, предназначенные для работы на сыпучих материалах, выпускаются со специальным нацеливающим устройством Easy Aimer уже в базовой комплектации (рис. 6).

#### Защита антенны

Накопление материала на поверхности рупора не влияет на работоспособность прибора. Однако при значительном накоплении материала внутри рупора, особенно при налипании или отложениях на эмиттере прибора, его работоспособность катастрофически падает. Поэтому в комплекте с уровнемерами Sitrans LR260 и Sitrans LR460, предназначенными для рабо-

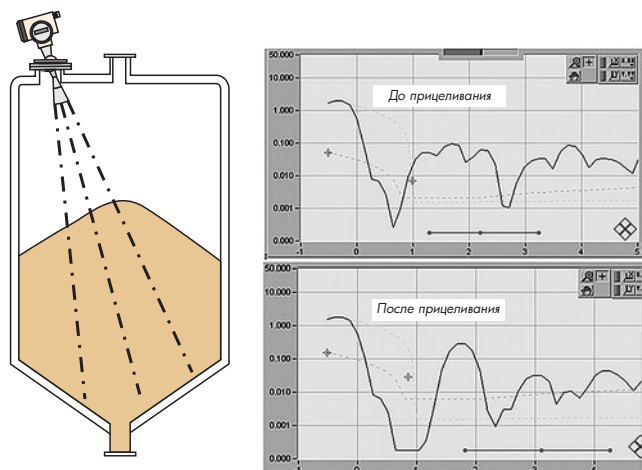


Рис. 5

ты на пылящих материалах, компания Siemens поставляет специальные защитные крышки для рупорной антенны. Крышки, выполненные из фторопласта (материал с низким коэффициентом диэлектрической проницаемости), являются "прозрачными" для электромагнитных волн и не влияют на излучение/прием сигналов (рис. 7).

#### Опция продувки антенны

Некоторые сыпучие материалы, такие как пластиковые порошки или цемент, при производстве проходят специальный процесс сушки и далее хранятся в емкостях в сухом виде. Эти материалы, как правило, при небольших отложениях внутри рупора не создают проблем для работы прибора. Из-за низкого коэффициента диэлектрической проницаемости эти материалы являются "прозрачными" для электромагнитных волн. В случае появления влаги внутри емкости могут возникнуть сложности с выгрузкой материала, так как слежавшийся и слипшийся материал не может уже выгружаться "самотеком" из разгрузочного отверстия. В таких условиях уровнемер будет выдавать оператору сигнал "Ошибка в измерении максимального уровня", сигнализируя о необходимости очист-



Рис. 6

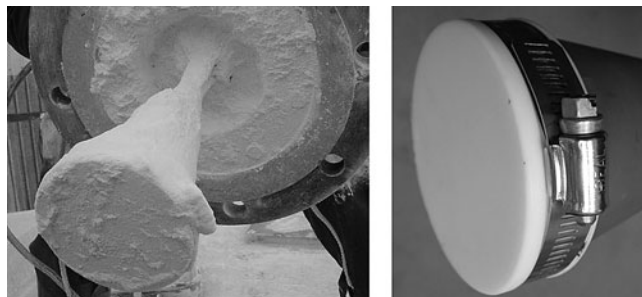


Рис. 7

ки антенны. Если налипания материала небольшие, будет достаточно выполнять очистку антенны раз в полгода. Однако, если материал налипает на антенне достаточно быстро, единственным выходом из этой ситуации может быть опция антенны с принудительной продувкой. У антенны с продувкой во фланце прибора есть специальные отверстия, соединяющиеся с внутренней поверхностью рупора. Через эти отверстия с помощью воздуха или любого другого газа можно выполнять операции автоматической продувки антенны. При подаче воздуха весь накопленный материал выдувается из антенны. Уровнемеры Sitrans LR260 и Sitrans LR460 выпускаются с опцией принудительной продувки.

#### **Sitrans LR260 и Sitrans LR460 – разработаны специально для сыпучих продуктов**

Для решения задач измерения уровня сыпучих материалов наиболее подходящими являются приборы, работающие на высокой частоте и требующие независимого напряжения питания для диапазонов измерения 30...100 м.

Радарные уровнемеры Sitrans LR260 и Sitrans LR460 разработаны специально для измерения уровня сыпучих продуктов. Эти приборы надежно работают в очень сложных динамических условиях. Высо-

кая запыленность, неравномерность поверхности, ложные отражения – все эти факторы не оказывают влияния на надежность и точность измерения уровня с помощью Sitrans LR260 и Sitrans LR460. Узкий угол излучаемого сигнала, высокая мощность излучения с автоматической подстройкой под меняющиеся условия, высокое соотношение сигнал-шум – все эти факторы обеспечивают надежность работы на сыпучих материалах. Встроенное нацеливающее устройство, опция принудительной продувки, защитная крышка – эти факторы обеспечивают долговременную работу приборов без необходимости обслуживания. Рупорная антенна небольшого диаметра, ПО Quick Start обеспечивают простоту монтажа и пуска в эксплуатацию. Программирование прибора может быть выполнено как по месту с помощью инфракрасного программатора, так и дистанционно с помощью ПО Simatic PDM (Process Device Manager). Применение бесконтактного метода измерения уровня, отсутствие движущихся частей обеспечивает долговременную работу и снижение стоимости обслуживания и стоимости долговременного владения.

Все эти факторы говорят о том, что радарные уровнемеры Sitrans LR260 и Sitrans LR460 являются одними из лучших приборов для решения задач измерения уровня сыпучих материалов.

*Шмаков Алексей Владимирович – руководитель направления PS2 Siemens IA SC.*

*Контактный телефон (495) 737-18-44, факс (495) 737-23-99.*

*E-mail: alexey.shmakov@siemens.com*

*Http://www.siemens.ru/sc*

## **ЭНКОДЕРЫ SENDIX – НАДЕЖНАЯ СВЕРХКОМПАКТНОСТЬ**

**В.Л. Щербаков (ЗАО "Сервотехника")**

*Представлены основные технические и конструктивные характеристики относительных и абсолютных энкодеров, разработанных компанией Fritz Kuebler GmbH (Германия) и известных под маркой Sendix. Намечены вероятные пути дальнейшего развития этого сегмента рынка датчиков.*

*Ключевые слова: энкодеры, технология подсчета числа оборотов, угловое перемещение.*

На современных производствах для измерения угловых перемещений применяют датчики соответствующего типа – энкодеры. В современных энкодерах используются в основном оптический метод измерения угла и цифровая обработка выходного сигнала. Наибольшее распространение получили относительные (инкрементальные) и абсолютные энкодеры.

Относительные энкодеры генерируют информацию относительно положения и угла объекта в виде электрических импульсов, соответствующих положению вала. Если вал неподвижен, передача импульсов прекращается. Основным рабочим параметром датчика является число импульсов на оборот. Текущее положение объекта определяется посредством подсчета данных импульсов в точке измерений. При первом подключении питания необходимо произвести установку вала для определения абсолютного положения.

Абсолютные энкодеры (однооборотные и многооборотные) представляют информацию о положе-

нии, угле и числе оборотов вала в форме уникальных кодов. Основной рабочей характеристикой для абсолютных энкодеров является число этих кодов на оборот и число таких оборотов. Первичная установка такого датчика не требуется.

Инкрементальный оптический энкодер, как правило, состоит из пяти компонентов: источника света, кодомерного диска, маски, фотодетекторной сборки и аналого-цифровой согласующей или интерфейсной логики. Внутри энкодера жестко с валом закреплен прозрачный диск с темными рисками. Источник света и фотоприемник расположены по разные стороны от диска. Количество света, проходящего на фотоприемник, меняется в зависимости от положения рисков. Электронная плата преобразует сигнал от фотоприемника в дискретный выходной сигнал. Число импульсов сигнала на один оборот вала в самом простом случае совпадает с числом рисков на диске.