

Техническое описание

Влияние частоты сигнала на работу радарного уровнемера



Влияние частоты сигнала на работу радарного уровнемера

За сорок лет своего развития радарные уровнемеры вышли на лидирующие позиции по измерению уровня в различных отраслях. Частота микроволнового сигнала радарных уровнемеров является предметом недавних исследований и разработок. Традиционно в уровнемерах используются три диапазона частот: С-диапазон (~6 ГГц), Х-диапазон (~10 ГГц), и К-диапазон (~26 ГГц). Сигналы в этих частотных диапазонах обладают свойствами, позволяющими проводить надежные измерения уровня с точностью до миллиметра. В последнее время стали использоваться уровнемеры, работающие на частотах 75–85 ГГц (нижняя часть W-диапазона). Использование радаров с частотой 75–85 ГГц обязано своим развитием появлению автомобильных радарных приложений (например, систем автоматической парковки).

Частота является фундаментальной характеристикой любого радарного устройства, оказывающей непосредственное влияние на выполнение измерений. Важно учитывать тот факт, что разные частоты не одинаково подходят для всех видов применений. Радарные уровнемеры, работающие на разных частотах, предназначены для решения разных задач.

В первую очередь в данном документе будут рассмотрены фундаментальные физические свойства сигналов разных частот, а затем будет дано объяснение практического влияния этих свойств на реальные процессы измерения уровня. С этой целью в документе проводится различие между бесконтактными радарными уровнемерами, работающими на низких микроволновых частотах (в С и Х диапазонах, 6–11 ГГц), на средних микроволновых частотах (К-диапазон, 24–29 ГГц) и на высоких микроволновых частотах (W-диапазон, 75–85 ГГц).

Влияние частоты и длины волны

Принцип работы описываемых уровнемеров основан на излучении микроволновых электромагнитных колебаний с целью измерения расстояний. Микроволновый сигнал обычно определяется как электромагнитное излучение с длиной волны (расстоянием между соседними максимумами амплитуды, обозначаемым λ) от 300 мм (≈ 1 фут) до 3 мм ($\approx 0,1$ дюйма). Длина волны обратно пропорциональна частоте (f число максимумов амплитуды сигнала в единицу времени), т. е. чем меньше длина волны, тем выше частота. В случае микроволновых колебаний с длиной волны $\lambda=300$ мм это соответствует колебаниям с частотой $f=1$ ГГц, а колебания с длиной волны $\lambda=3$ мм — колебаниям с частотой $f=100$ ГГц. Свойства радарных уровнемеров, работающих на низких, средних и высоких частотах (микроволнового диапазона) описываются в табл. 1-1.

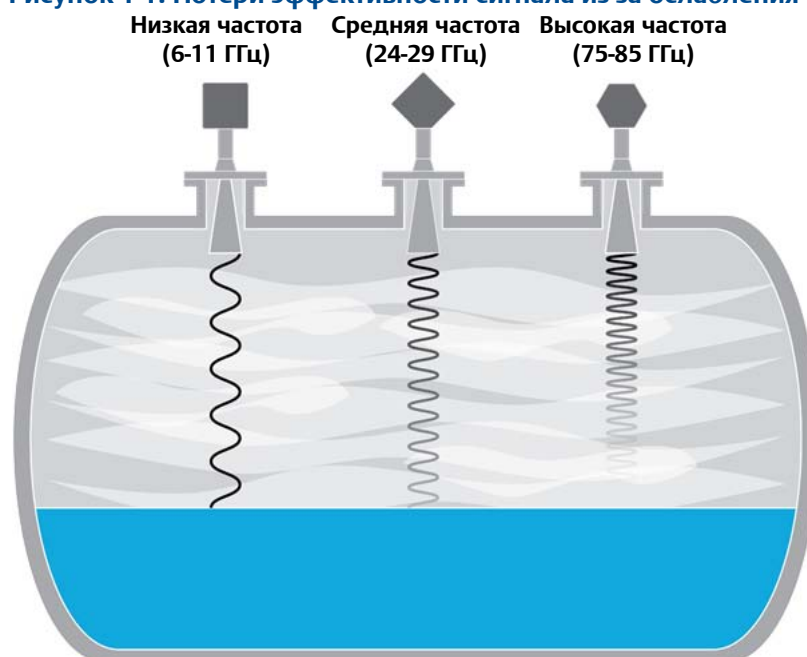
Таблица 1-1. Длины волн и частоты радарных уровнемеров низкой, средней и высокой частоты

Диапазон частот	Полоса	Частота (f)	Длина волны (λ)
Низкая	С и Х-диапазоны	6–11 ГГц	50–30 мм ($\approx 2-1,2$ дюйма)
Средняя	К-диапазон	24–29 ГГц	~ 10 мм ($\approx 0,4$ дюйма)
Высокая	W-диапазон	75–85 ГГц	4–3,5 мм ($\approx 0,15$ дюйма)

Разные физические свойства оказывают непосредственное влияние на возможность применения частот в различных системах и условиях измерения.

Прежде всего, высокочастотные колебания в большей мере подвержены ослаблению, т. е. они легче поглощаются при прохождении через среду, что приводит к ослаблению эхо-сигнала. Простой пример: представьте, что Ваш сосед громко слушает музыку. Низкочастотные звуки (басы) четко передаются на большие расстояния даже через стены. Звуки высокой частоты, однако, быстро поглощаются и не проникают на большие расстояния или сквозь объекты на их пути. В случае измерения уровня это означает, что при использовании высокочастотных радарных уровнемеров с большей вероятностью могут возникнуть проблемы из-за наличия конденсата, пара, пены, загрязнения антенны или пыли. Сигналы низкой или средней частоты в диапазоне длин волн от 10 до 50 мм меньше подвержены влиянию этих факторов и имеют большую вероятность прохождения через соответствующие среды без изменений.

Рисунок 1-1. Потери эффективности сигнала из-за ослабления



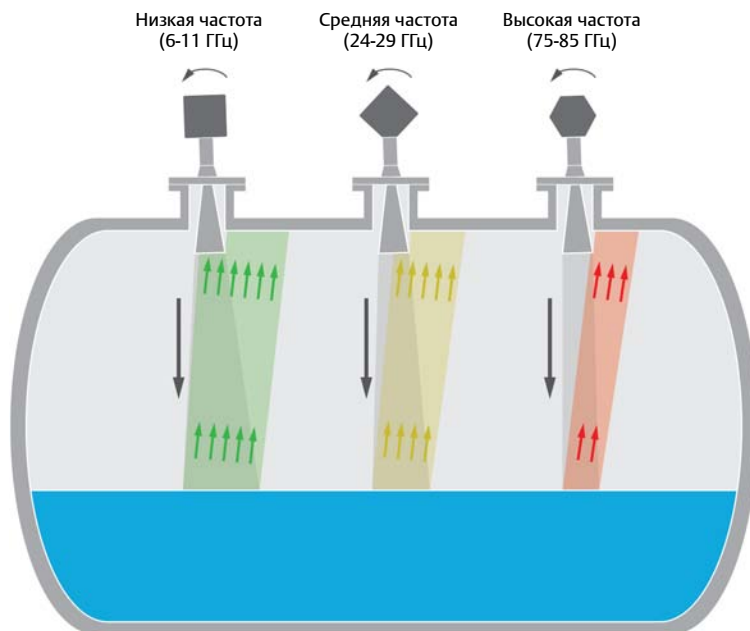
При прохождении через среду, колебания поглощаются и сила сигнала уменьшается. Колебания высокой частоты в большей мере подвержены ослаблению, чем средних и низких частот.

Вторым важным эффектом влияния частоты на работу радарного уровнемера является ее влияние на ширину диаграммы направленности антенны и угол луча, т. е. на фокусировку микроволнового излучения. Эти характеристики определяются как конструкцией антенны, так и рабочей частотой сигнала. Высокочастотные сигналы позволяют обеспечить высокую степень фокусировки при небольших размерах антенны. Соответственно, при низких частотах высокая степень фокусировки может быть достигнута за счет увеличения размера антенны. Преимуществом высокой степени фокусировки луча при измерении уровня является то, что он с меньшей вероятностью попадет в установки внутри резервуара. Однако, использование узкого сфокусированного луча имеет и свои недостатки. Например, при наличии препятствия непосредственно под радарным уровнемером узкий луч будет полностью блокирован, в то время как уровнемер с более широким лучом будет блокирован лишь частично и сможет обеспечить продолжение измерений.

Экспериментальным путем установлено, что угол фокусировки луча не должен, по возможности, быть меньше 4° . Использование более узкого луча делает уровнемер чувствительным к смещениям антенны. Представьте предельный случай: если луч радарного уровнемера фокусируется, как лазерный (практически параллельный пучок),

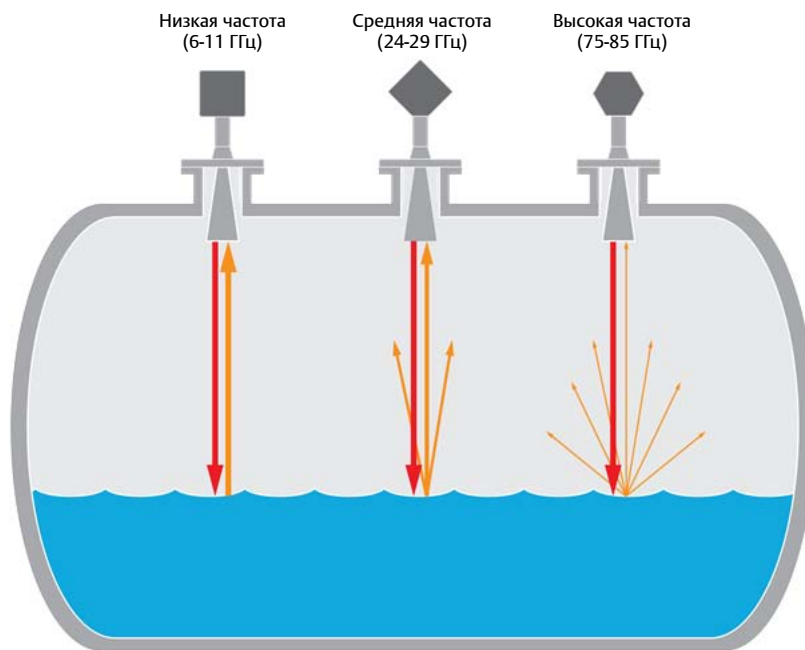
его будет почти невозможно совместить с отвесной линией в реальном резервуаре. Следовательно, отраженный луч не попадет на антенну, и сигнал будет потерян.

Рисунок 1-2. Смещение антенны



Небольшое отклонение луча может привести к отклонению обратного сигнала

Наличие волн и ряби на поверхности технологических жидкостей — весьма обычное явление в промышленных системах, которое может затруднить измерения с помощью радарных уровнемеров. Если от ровной поверхности жидкости микроволновое излучение отражается вертикально вверх (к антенне), то при отражении от взволнованной турбулентной поверхности луч может отклониться или рассеяться. Таким образом, может быть потеряно до 90% уровня сигнала, что в свою очередь делает проблематичным проведение точных и надежных измерений уровня. Микроволновые измерения остаются нечувствительными к неровностям поверхности, таким как турбулентность, если длина волны излучения больше чем размер ряби на поверхности жидкости. Например, эхо-сигнал радарного уровнемера высокой частоты может быть нарушен и рассеян рябью на поверхности жидкости высотой 3,8 мм ($\approx 0,15$ дюйма), в то время как среднечастотный сигнал не подвержен воздействию ряби даже с амплитудой в два с половиной раза выше и отражается от нее как от плоской ровной поверхности.

Рисунок 1-3. Рябь и турбулентность рассеивают отраженный сигнал

Микроволновое излучение с короткой длиной волны более подвержено рассеиванию при наличии также небольших колебаний на поверхности жидкости, что приводит к ослаблению эхо-сигнала.

Низкие, средние и высокие частоты: преимущества и недостатки

Очевидно, что величина частоты оказывает существенное влияние на выбор типа применения, для которого данный радарный уровнемер является наиболее подходящим. Ниже приводится указатель возможных проблем, которые часто возникают при измерении уровня, и их влияние на выбор частоты.

Таблица 1-2. Преимущества и недостатки использования устройств низкой, средней и высокой частоты при измерении уровня

	Низкая частота: 6–11 ГГц	Средняя частота: 24–29 ГГц	Высокая частота: 75–85 ГГц
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> • Не подвержены воздействию препятствий на пути луча • В наименьшей степени ослабляются при наличии: <ul style="list-style-type: none"> ○ конденсата ○ пара ○ пыли ○ отложений на поверхности антенны ○ пены • В наименьшей степени подвержены воздействию ряби на поверхности жидкости • Отлично работают в успокоительных трубках 	<ul style="list-style-type: none"> • Не подвержены воздействию препятствий на пути луча • Надежно работают в условиях наличия: <ul style="list-style-type: none"> ○ конденсата ○ пара ○ пыли ○ отложений на поверхности антенны ○ пены • Надежно работают, несмотря на наличие волн и ряби • Работают с портативными насадками ($\geq 1\frac{1}{2}$-дюйма) 	<ul style="list-style-type: none"> • Узкий луч помогает обойти препятствия • Работают с антеннами для миниатюрных насадок ($\geq 3/4$ дюйма.) • Работают в очень узком диапазоне измерений
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> • Требуют увеличения размеров антенны и патрубка • Измерение на коротком расстоянии от фланца не всегда возможно 	<ul style="list-style-type: none"> • Подвержены воздействию тяжелых паров (например, безводного аммиака, MBX) • Подвержены воздействию густой пены (например, латекс, черная патока). 	<ul style="list-style-type: none"> • Для узкого луча необходим свободный путь • Чувствительны к наличию: <ul style="list-style-type: none"> ○ конденсата ○ пара ○ пыли ○ отложений на поверхности антенны ○ пены • В наибольшей степени подвержены влиянию волн и ряби • Чувствительны к углу наклона антенны • Не подходят для использования в успокоительных трубках и камерах

Применения

Системы с высокой степенью загрязнения

Загрязнения налипают на антенну, что со временем приводит к изменению уровня и направления радарного сигнала. Сигналы низкой и средней частоты менее чувствительны к наличию загрязнений и в целом проходят через такие среды в неизменном виде.

При использовании сигналов высокой частоты загрязнения, покрывающие антенну, в большей степени влияют на их силу, а направление луча может отклониться. Отложение неровного слоя загрязнений на части поверхности антенны может изменить направление луча на $1,5^\circ$. Это может затруднить работу радарного уровнемера с узким лучом, поскольку эхо-сигнал не будет напрямую направляться на антенну, что приведет к потере уровня сигнала.

Таким образом, уровнемеры, работающие на низких и средних частотах, больше подходят для применения в условиях системы с высоким уровнем загрязнения.

Резервуары, содержащие пар и/или конденсат

Наличие пара или конденсата иногда создает трудности при измерении уровня с помощью радарных уровнемеров. Вода отражает микроволновое излучение гораздо сильнее, чем большинство промышленных жидкостей. Наличие конденсата и пара может, таким образом, вызвать искажение сигнала, отраженного от поверхности технологической жидкости, за счет «шумовых помех», вызываемых каплями воды. Это обстоятельство особенно затрудняет функционирование уровнемеров, работающих на высоких частотах, поскольку более короткие волны их сигналов сильнее отражаются мельчайшими частицами пара и аэрозолей.

Низкочастотные и среднечастотные технологии, таким образом, более подходят для использования в системах с наличием пара и конденсата. Следует заметить, что при наличии конденсата конструкция антенны также имеет критическое значение. Во всех случаях следует избегать использования антенн с плоскими горизонтальными поверхностями.

Применения, связанные с наличием волн, ряби и турбулентностей на поверхности технологических жидкостей

В целом в применениях, связанных с наличием волн, ряби и турбулентностей, лучше всего себя зарекомендовали уровнемеры, работающие на низких и средних частотах. Наличие небольшой ряби на поверхности жидкости особенно негативно сказывается на работе измерительных устройств, использующих высокочастотные сигналы. Малая длина волны означает, что отраженный сигнал рассеивается при смещении малых участков поверхности жидкости, что приводит к потере уровня эхо-сигнала. Сигналы с большей длиной волны отражаются от ряби, как от плоской поверхности и, таким образом, больше подходят для применения в данных условиях.

Применения, связанные с наличием пены

Слой пены на поверхности жидкости поглощает радарный сигнал и затрудняет точное измерение уровня аналогично загрязнению и конденсату. Пена может обладать различными свойствами в зависимости от того, каким продуктом она образуется,

но следует повторить, что использование более низких частот обеспечивает более высокую точность и надежность измерений. Для плотной и толстой пены (например, образуемой пивом, черной патокой или латексом) наилучший диапазон частот от 6 до 10 ГГц. Для более легкой пены хорошо подходит частота сигнала 26 ГГц. Следует избегать использования высокочастотных технологий при измерениях в системах, связанных с наличием пены.

Резервуары для наливных жидкостей

В очень больших резервуарах, например, используемых на танкерных терминалах, размеры и размещение насадок обычно не ограничивают выбор радарного уровнемера. Препятствия и посторонние объекты в резервуаре также обычно не имеют большого значения. Благодаря размерам резервуара, на поверхности жидкости часто присутствуют волны и рябь. Также часто наблюдается наличие конденсата. Как уже объяснялось выше, использование высокочастотных технологий в таких условиях представляется проблематичным.

Во многих крупных резервуарах с плавающей крышей измерение уровня осуществляются с помощью успокоительных трубок. В этих случаях предпочтительны низкочастотные радарные уровнемеры, поскольку они менее чувствительны к отложению загрязнений на стенках трубки, в прорезях и трубках, которые на являются идеально прямыми. Применение высокочастотных уровнемеров в этих условиях сопряжено с трудностями.

Коме того, в крупных резервуарах часто происходит значительное смещение крыши, связанное с нагревом на солнце или охлаждением в тени, воздействием ветра или вздутием резервуара. Это затрудняет работу высокочастотных уровнемеров, поскольку узость луча делает их очень чувствительными к изменениям угла установки, если их ось отклоняется от линии отвеса. Изменение угла установки может привести к тому, что эхо-сигнал не попадет в створ антенны. Это обстоятельство усложняет процесс установки высокочастотных радарных уровнемеров, поскольку для обеспечения правильного функционирования они должны устанавливаться на абсолютно горизонтальной поверхности. Таким образом, низкочастотная технология является самой подходящей для данного применения.

Резервуары малых и средних размеров

Данный тип резервуаров, высотой обычно 1–20 м (3–66 футов), чаще всего используется на промышленных предприятиях. Эти резервуары используются для выполнения широкого круга задач, от промежуточного хранения до смешивания, сепарирования, а также в качестве реакторных установок. Соединительные трубопроводы обычно имеют диаметр 2–4 дюйма, а условия измерений внутри резервуара часто осложняются одним или несколькими факторами: наличием конденсата, загрязнений, турбулентности, пены и т. п. Для данного типа резервуаров хорошим вариантом являются уровнемеры, работающие на средних частотах, благодаря их универсальности. Они совмещают портативную антенну с хорошей надежностью при работе в трудных условиях. Низкочастотные радарные уровнемеры менее пригодны из-за небольших размеров насадок, а высокочастотные хуже справляются со сложными условиями технологического процесса.

Малые резервуары

Размеры и возможность размещения насадок ограничивают использование в малых резервуарах размером 0,5–1,5 м (1,6–5 футов). Малый диапазон измерений и необходимость использования портативных антенн означают, что в данном случае уместно использовать уровнемеры, работающие на высоких и средних частотах.

Разумеется, при этом необходимо принимать во внимание возможность возникновения вышеупомянутых факторов: наличия конденсата, загрязнения, турбулентности поверхности и пены.

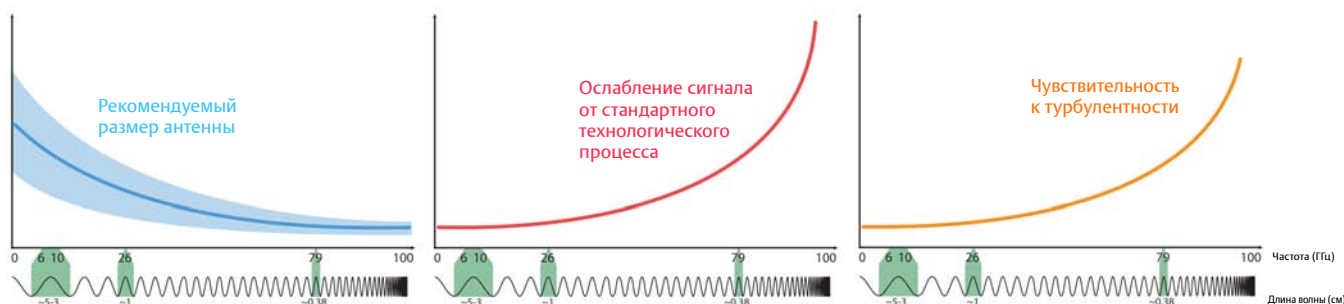
Сыпучие вещества

Выбор частоты радарного сигнала для измерения уровня сыпучих веществ в значительной степени зависит от применения. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки. Уровнемеры, работающие на низких и средних частотах, хорошо подходят при работе с пыльными средами, конденсатами и грубыми крупнозернистыми материалами. Высокочастотные уровнемеры хорошо подходят для работы с тонкомолотыми порошками. Конденсация обычно является затрудняющим фактором для работы высокочастотных уровнемеров, но при работе с твердыми материалами возникает еще одна проблема: конденсат в сочетании с некоторыми твердыми материалами вызывает быстрое налипание загрязнений на поверхности уровнемера. Это быстро приводит к закупориванию отверстий небольших насадок и загрязнению небольших антенн высокочастотных радарных уровнемеров.

Выводы

Радарные технологии измерения уровня прошли большой путь развития с момента своего появления 40 лет назад и продолжают совершенствоваться. Появившиеся недавно радарные уровнемеры с частотой 75–85 ГГц могут обеспечить преимущества при измерении уровня в самых малых резервуарах с трубопроводами малых размеров и при условии очень небольших диапазонов изменения измеряемых величин. Однако неизменной остается основная рекомендация об использовании диапазонов 6–11 и 24–29 ГГц для надежных измерений уровня с точностью до миллиметра. Высокочастотные технологии могут успешно использоваться в менее сложных условиях, однако, фундаментальные физические основы микроволновых технологий указывают на меньшую степень пригодности этих технологий в критических условиях. Напротив, низкочастотная и среднечастотная технология была специально разработана для измерения уровня в самых сложных условиях и применениях. Причиной успеха использования этих устройств является то, что они обеспечивают надежность и точность измерений уровня почти для всех применений.

Рисунок 2. Соотношение между частотой, размером антенны, ослаблением сигнала и чувствительностью к турбулентности



С увеличением частоты возможно уменьшение размера антенн. Однако, это негативно сказывается на выполнении измерений в условиях стандартного технологического процесса.

Более подробная информация о следующем поколении радарных уровнемеров Rosemount доступна на веб-сайте emrnsn.co/level-ru

Emerson Automation Solutions

Россия, 115054, г. Москва,
ул. Дубининская, 53, стр. 5

+7 (495) 995-95-59

+7 (495) 424-88-50

Info.Ru@Emerson.com

www.emerson.ru/automation

Азербайджан, AZ-1025, г. Баку

Проспект Ходжалы, 37

Demirchi Tower

+994 (12) 498-2448

+994 (12) 498-2449

Info.Az@Emerson.com

Казахстан, 050012, г. Алматы

ул. Толе Би, 101, корпус Д, Е, этаж 8

+7 (727) 356-12-00

+7 (727) 356-12-05

Info.Kz@Emerson.com

Украина, 04073, г. Киев

Куреневский переулок, 12,

строение А, офис А-302

+38 (044) 4-929-929

+38 (044) 4-929-928

Info.Ua@Emerson.com

Промышленная группа «Метран»

Россия, 454003, г. Челябинск,

Новоградский проспект, 15

+7 (351) 799-51-52

Info.Metran@Emerson.com

www.emerson.ru/automation

Технические консультации по выбору
и применению продукции осуществляет
Центр поддержки Заказчиков.

+7 (351) 799-51-51

+7 (351) 799-55-88

00870-0107-4026, Ред. АА, Октябрь 2016



Emerson Ru&CIS



twitter.com/EmersonRuCIS



www.facebook.com/EmersonCIS



www.youtube.com/user/EmersonRussia

Стандартные условия продаж приведены по адресу

www.Emerson.com/en-us/pages/Terms-of-Use

Логотип Emerson является торговой маркой и торговым знаком компании Emerson Electric Co.

Rosemount и логотип Rosemount являются зарегистрированными товарными знаками компании Emerson.

© Emerson, 2016. Все права защищены.