

Промышленные радарные датчики СВЧ излучения.

Антенны: рупорная и параболическая.

Введение.

Антенна является проводником, служащим для излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство или сбора электромагнитной энергии из окружающего пространства. Существует множество различных типов антенн, используемых в технике, но здесь мы уделим внимание только тем антеннам, которые выполняют работу по передаче и приему сигналов в радарных устройствах измерения и контроля, предназначенных для автоматизации технологических процессов.

Рассматриваемые здесь особенности относятся к промышленным радарам или радарным дальномерам, использующим частоты сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона 10, 24, 45, 75 ГГц и частотную модуляцию (ЧМ) непрерывных волн. Промышленные радарные дальномеры СВЧ-ЧМ малой мощности отличаются сравнительно небольшой дальностью обнаружения, тем не менее, вполне покрывающей потребности многих задач обнаружения, определения расстояния до объекта и измерения уровня. Формирование выходных сигналов, пропорциональных измеренному расстоянию в радарных СВЧ-ЧМ производится на основании аппаратного спектрального анализа смеси несущей, переданной и отраженной волн по алгоритму быстрого преобразования Фурье (ППФ). Точность варьируется в пределах от 1 до 5см, в зависимости от частоты и диапазона дальномера. Известно, что диапазон обнаружения имеет зависимость от частоты и, в силу более быстрого затухания более высоких частот, он тем дальше, чем меньше рабочая частота при равной мощности излучения. Максимальный диапазон в каждой модельной серии радарных дальномеров может быть достигнут благодаря применению антенны, которая направляет и усиливает электромагнитные волны.

Существует два типа СВЧ антенн:

1. Рупорная антенна;
2. Параболическая антенна.

Выбор того или иного типа зависит от задачи обнаружения, контроля, измерения.

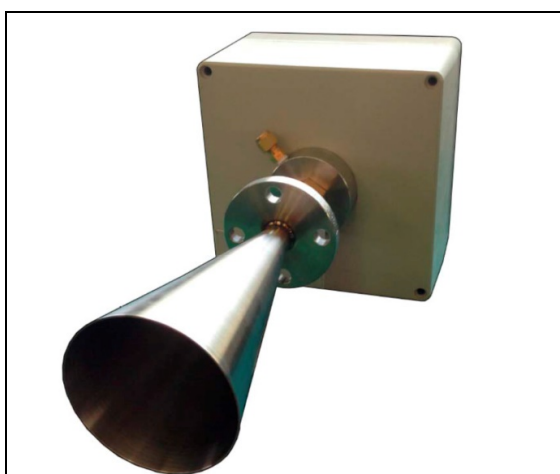


Рисунок 1. Дальномер WADECO с рупорной антенной.



Рисунок 2. Дальномер WADECO с параболической антенной.



Рупорная антенна.

Рупорная антенна – не сложное устройство, это, попросту, расширяющийся волновод (Рис. 3), который может усиливать и направлять СВЧ излучение. Обычный параллельный волновод сам по себе является неэффективным излучателем, – на выходе происходит обрыв изменения импеданса от импеданса волны до импеданса окружающего пространства. Когда радиоволны, идущие по волноводу, сталкиваются с открытым выходом, значительная часть энергии радиоволн отражается назад, в сторону источника, из-за чего часть мощности излучения гасится. Отраженные волны образуют в волноводе стоячие волны, повышая их коэффициент, что ведет к потере энергии и, возможно, нагреву передатчика. Кроме этого, из-за малого раскрытия волновода (менее одной длины волны), имеет место значительная дифракция, в следствии чего получаем широко распространенное, но не направленное излучение. Путем расширения волновода в форме раструба удается в большой степени улучшить его характеристики, добиться усиления и направленности излучения. Продолжением круглых волноводов, используемых промышленными дальномерами, является конусообразный рупор.

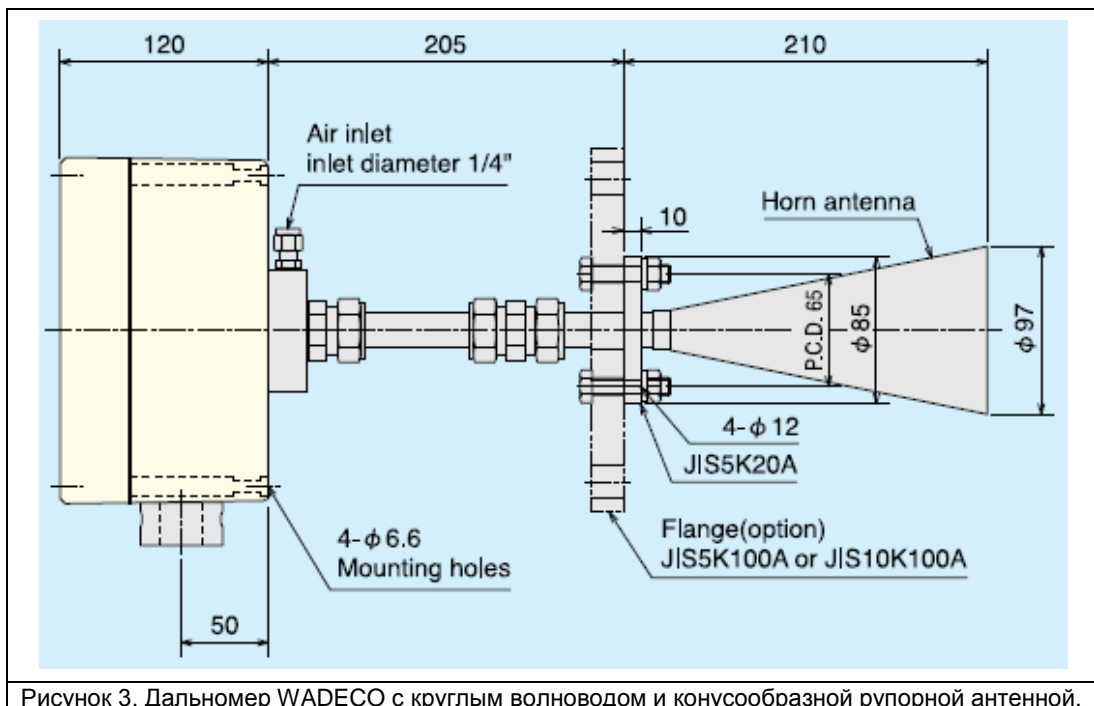


Рисунок 3. Дальномер WADECO с круглым волноводом и конусообразной рупорной антенной.

Усиление зависит от важных геометрических параметров антенны:

- 1) Длина рупора;
- 2) Площадь раскрытия;
- 3) Угол расширения.

Длина рупора выбирается в пределах от 2 до 5 длин рабочей волны. Площадь раскрытия - это площадь выходного зева раструба, чем она больше, тем выше усиление и лучше направленность излучения.

Усиление рупорной антенны определяется площадью её раскрытия и может быть рассчитано по формуле:



$$D = 4\pi \frac{S}{\lambda^2} \nu$$

где:

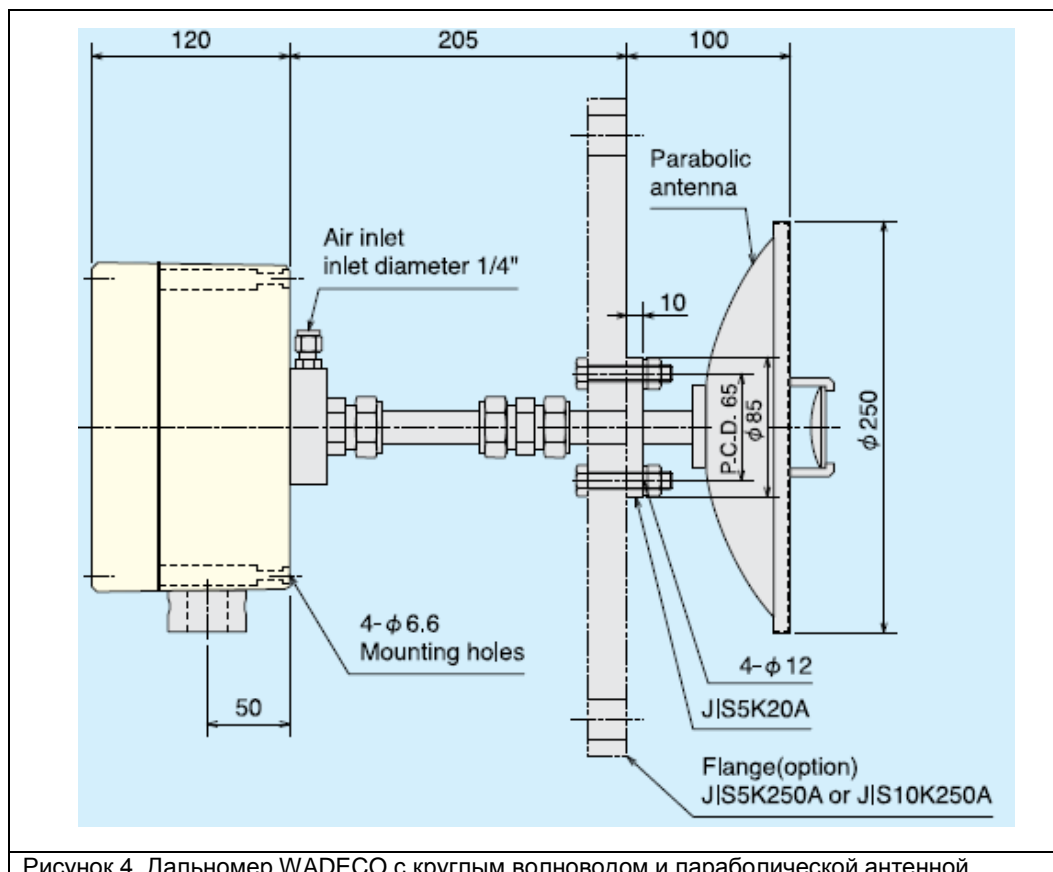
λ – длина волны,

S - площадь раскрыва рупора,

ν - КИП (коэффициент использования поверхности рупора), равный 0.6 для случая, когда разность хода центрального и периферийного лучей менее, но близка к $\pi/2$, и 0.8 при применении выравнивающих фазу волны устройств.

Параболическая антенна.

Параболическая антенна, иначе называемая «параболическим отражателем» является наиболее распространенной среди всех СВЧ антенн. Данный тип антенны происходит из оптики, что вполне объяснимо, т.к микроволны находятся в переходной области между обычными радиоволнами и видимым инфракрасным излучением. Параболический отражатель, как таковой, не является излучателем. Он отражает волны, посылаемые в его направление так называемым облучателем, расположенном на определенном фокусном расстоянии. Благодаря форме параболы, отраженные волны сходятся в параллельный луч, что обеспечивает их узкую направленность. Чем больше отражатель по отношению к длине волны, тем уже луч. Параболические антенны, среди прочих, отличаются наилучшим усилением и наибольшим коэффициентом направленности.



Усиление параболической антенны может быть рассчитано по формуле:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} e_A = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} e_A,$$

где:

A – площадь раскрыва антенны, которым является зев параболического рефлектора,

d – диаметр параболического рефлектора,

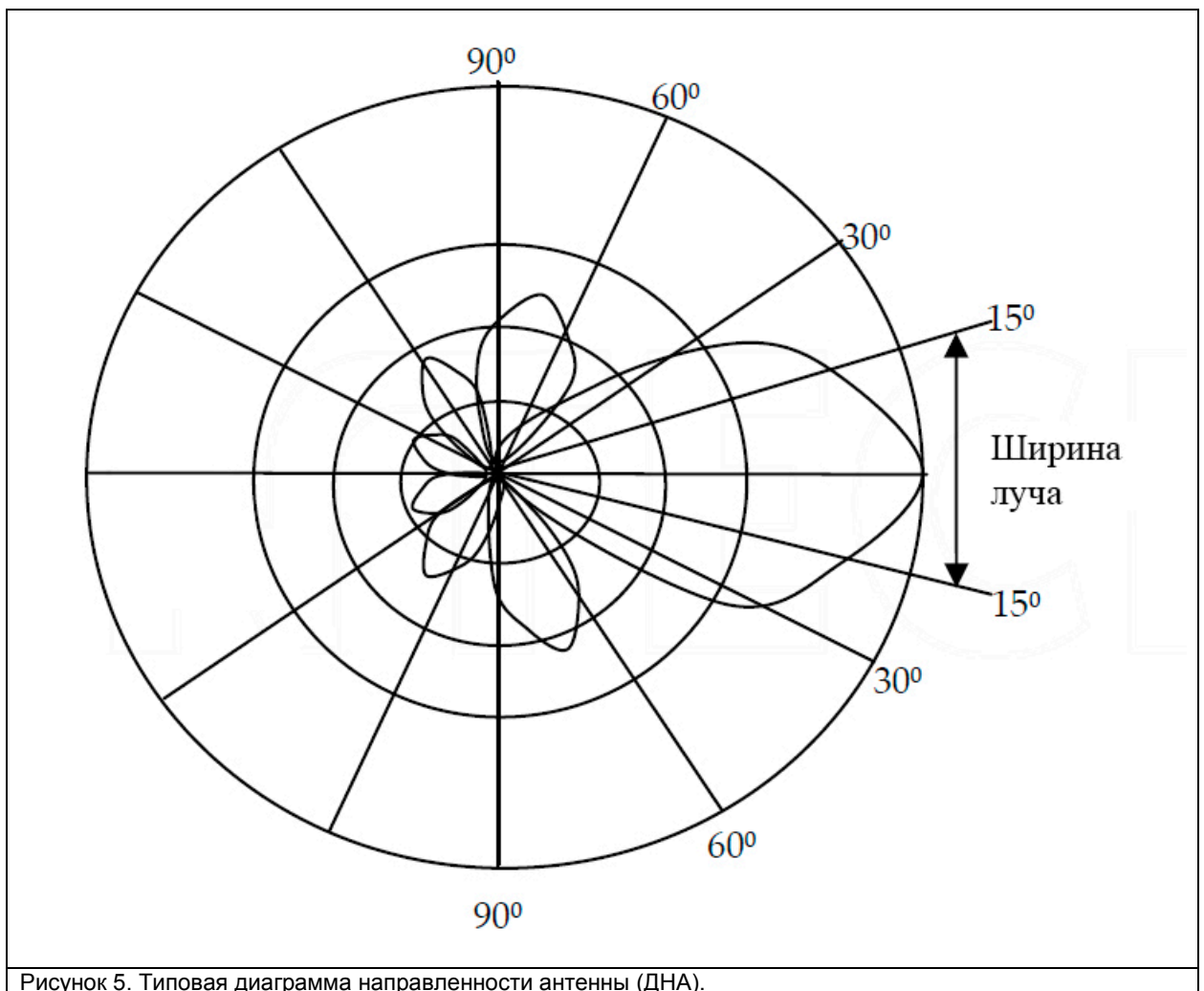
λ – длина волны,

e_A – отвлеченный параметр между 0 и 1, именуемый «эффективностью раскрыва».

Типовая эффективность раскрыва для параболических антенн находится в пределах от 0.55 до 0.70.

Можно видеть, что, чем больше площадь раскрытия, сопоставимая с длиной волны, тем выше усиление.

Диаграмма направленности антенн.



Антенны предназначены для формирования направленности и посылы максимальной мощности в направлении распространения СВЧ излучения. Практически, сфокусировать всю энергию в одном направлении невозможно, часть ее растекается в стороны и порождает так называемые боковые лепестки направленности относительно главного лепестка, расположенного в центре диаграммы. Боковые лепестки имеют меньшую амплитуду. Целью направленной антенны является повышение мощности главного лепестка за счет снижения мощности боковых лепестков направленности. Ширина луча, характеризующая антенну определяется шириной главного лепестка ДНА по уровню половинной мощности (что на 2дБ ниже максимального усиления вдоль главной оси ДНА). Чем выше усиление антенны, тем уже луч ДНА. Ширина луча антенны обычно сужается при увеличении размеров рефлектора. Ширина луча обычно выражается через угол расхождения.

Диаграмма направленности рупорной антенны характеризуется более широким углом расхождения и меньшим усилением по сравнению с параболической антенной, поэтому рупорные антенны применяются там, где требуется распространить СВЧ излучение на большую площадь, а параболические антенны применяются там, где требуется направленность «точка в точку» на большем расстоянии.

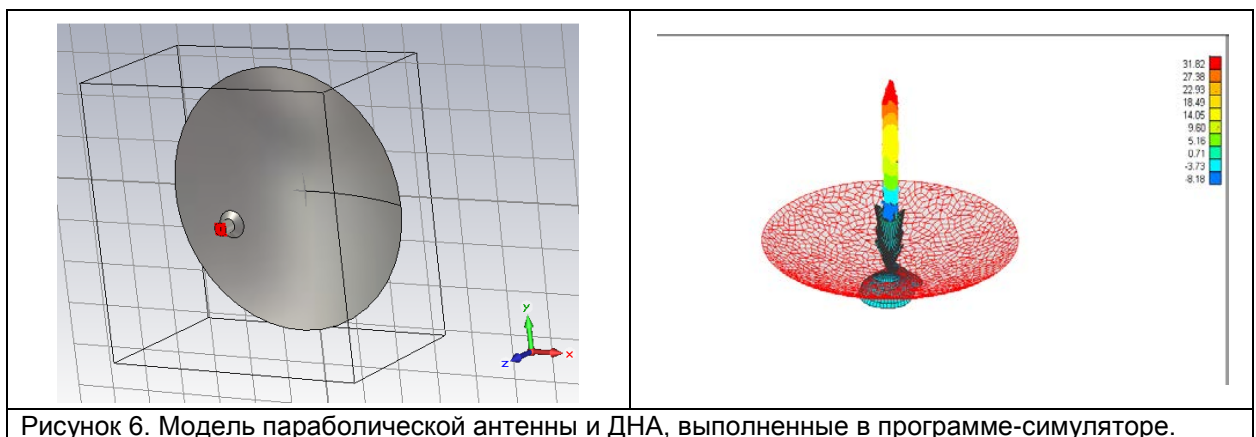


Рисунок 6. Модель параболической антенны и ДНА, выполненные в программе-симуляторе.

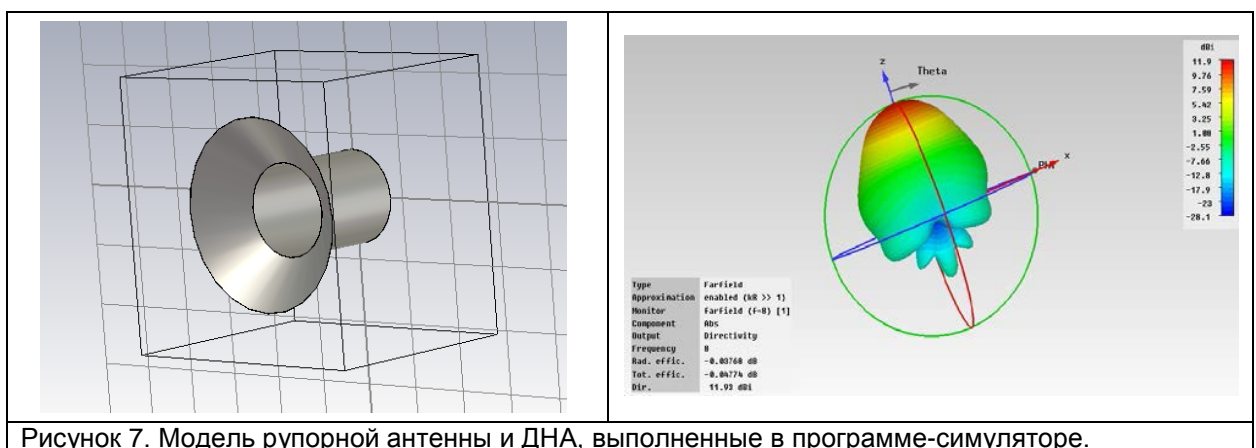


Рисунок 7. Модель рупорной антенны и ДНА, выполненные в программе-симуляторе.



Область применения.

СВЧ технологии используются для бесконтактного обнаружения и контроля положения объектов, измерения расстояния и уровня в очень тяжелых условиях эксплуатации, связанных с высокой температурой, образованием дыма, пара, распространением пыли и грязи.

Принципы обнаружения и измерения СВЧ устройств основываются на отражении радиоволн, обусловленном резким изменением макроскопических параметров среды, характеризующих распространение радиоволн: диэлектрической и магнитной проницаемости. Упомянутые выше условия, ухудшающие оптические свойства среды и препятствующие распространению светового излучения, не влияют на распространение радиоволн. В основном же радиоволны и оптические волны подчиняются одним законам. При столкновении радиоволн с гладкой поверхностью имеет место «зеркальное» отражение, которое описывается формулами Френеля, при столкновении с шероховатой поверхностью происходит диффузное отражение.

Микроволновые дальнометры для промышленной автоматизации производят обнаружение и измерения на основании спектрального анализа смеси несущей, переданной и отраженной волн по алгоритму быстрого преобразования Фурье (ППФ). Способность обнаружения и измерения, не зависящая от оптических и механических свойств среды обуславливает применимость радиоволновых технологий в таких отраслях, как металлургия, горно-обогатительная промышленность, химическая промышленность, производство строительных материалов и т.п. В металлургии СВЧ дальнометры используются для измерения уровня шихты в доменной печи, измерения уровня чугуна в чугуновозах, измерения уровня загрузки угля в коксовую печь, измерения толщины огнеупоров, контроля положения горячих слябов, контроля уровня сырья в перегрузочных течках конвейеров и др.

Выбор антенны рупорного или параболического типа основывается на сопоставлении ДНА с параметрами задачи (т.к. дальность, размеры пространства, измеряемая поверхность), требованиями по монтажу с учетом температуры измеряемой среды.

Рисунок 8 иллюстрирует пример применения дальнометра с рупорной антенной на доменной печи. Данный выбор объясняется конструктивной простотой самого рупора и неприхотливостью, учитывая то, что антенна размещается внутри доменной печи, а также, большим пятном проекции СВЧ излучения на измеряемую поверхность, позволяющим, при неравномерности поверхности получить информацию о максимальном уровне. Благодаря волноводу, измерительный прибор может быть отнесен от зоны с высокой температурой, в котором располагается антенна.

Нередко выбор рупорной антенны связан с ее целостностью и надежностью, когда существует угроза механических повреждений сыплющимися материалами.

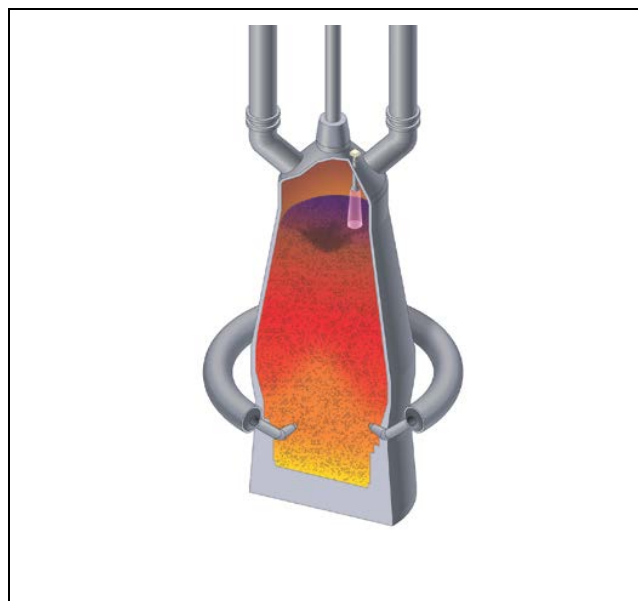


Рисунок 8. Измерение уровня шихты в доменной печи с помощью дальнометра с рупорной антенной.



На рисунке 9 приведен пример применения дальномера для измерения уровня чугуна в чугуновозе миксерного типа. В этом случае используется параболическая антенна, которая формирует узкий и направленный луч. Процесс подразумевает расположение уровнемера снаружи емкости, тогда требуется узкий луч, проходящий через горловину емкости.

Длинный волновод позволяет отнести измерительный прибор от антенны на безопасное расстояние.

Благодаря лучшей направленности и усилению параболическая антенна пользуется предпочтением, если процесс допускает наружное измерение и нет угрозы механических повреждений.

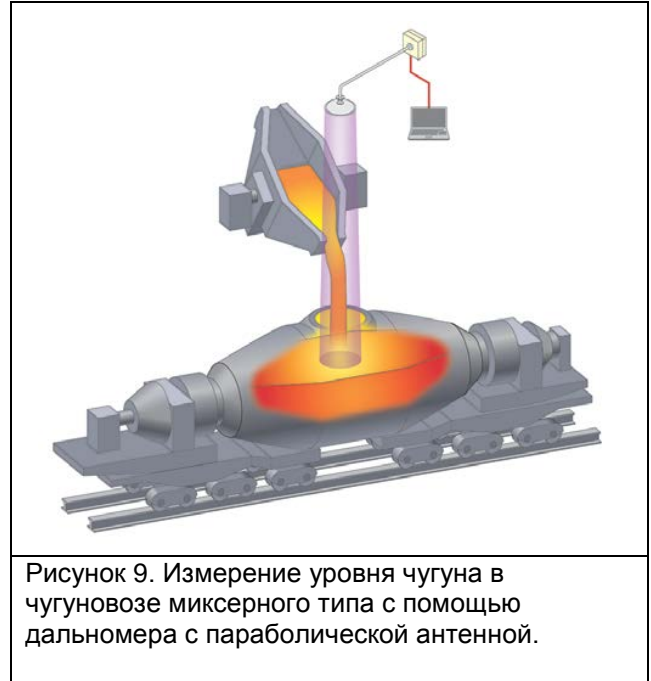


Рисунок 9. Измерение уровня чугуна в чугуновозе миксерного типа с помощью дальномера с параболической антенной.

