

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ

В технических руководствах для ультразвуковых датчиков приближения приводятся диаграммы направленности (Рисунок 1.). Для датчиков, действующих по принципу эхолокации, диаграмма направленности представляется в виде сводного графика характеристик излучения и отражения, показывающего ширину распространения ультразвуковых волн во всем диапазоне обнаружения. Характеристики отражения зависят от свойств объекта и условий окружающей среды (температуры, влажности, давления), поэтому графики являются типовыми, составленными при отражении от тестовой мишени при температуре окружающей среды 20°C, давлении 1 атм, относительной влажности воздуха 80%. Типовой график, скорее отражает зону чувствительности и имеет для пользователя практическое значение при первоначальном выборе модели датчика, а также, при рассмотрении места его установки. Если рассматривать стадии излучения и приема в ультразвуковом датчике по отдельности, то типовой график, лишь отдаленно показывает картину реального звукового поля, создаваемого излучателем. Очевидно, что дальность распространения ультразвуковых волн с учетом их следования до препятствия и обратно, должна быть, по меньшей мере, в два раза больше.

От датчиков приближения во многом зависит точность позиционирования объектов в автоматизированных процессах, поэтому датчики нацелены вести обнаружение в некоторых узконаправленных областях контроля.

При обнаружении с помощью ультразвука область контроля формируется в пределах узконаправленного звукового поля, создаваемого дисковой мембраной пьезоэлектрического излучателя.

Дисковая мембрана представляет собой акустический излучатель поршневого типа или простейший акустический диполь, совершающий колебания вдоль одной оси. Звуковое поле, создаваемое идеальным акустическим излучателем (круглой мембраной), характеризуется фронтом распространения и углом расхождения звуковых волн (уравнения 1 и 2):

$$r = \frac{d^2}{\lambda} \quad (1),$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{d}\right) \quad (2),$$

где: d - диаметр мембраны; λ - длина волны.

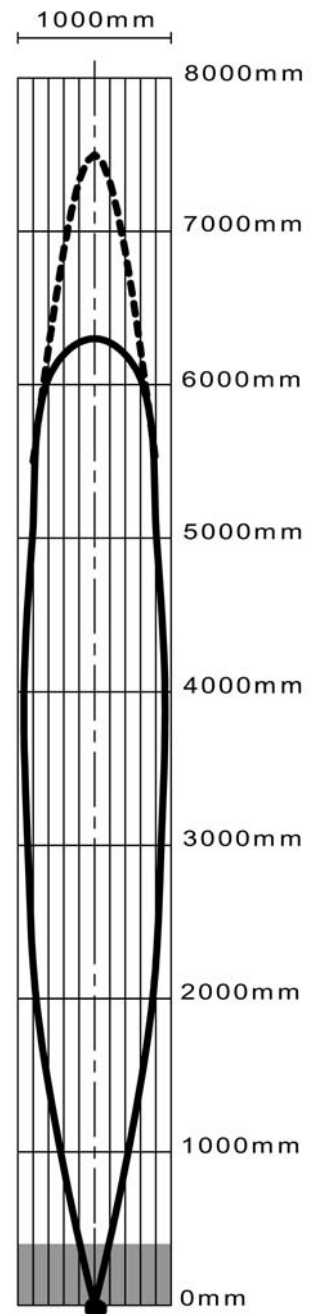


Рисунок 1. Диаграмма направленности UPK 5000

Фронт разделяет звуковое поле на две области:

I – вблизи излучателя, где $r \leq \frac{d^2}{\lambda}$;

II – на удалении от излучателя, где $r \geq \frac{d^2}{\lambda}$.

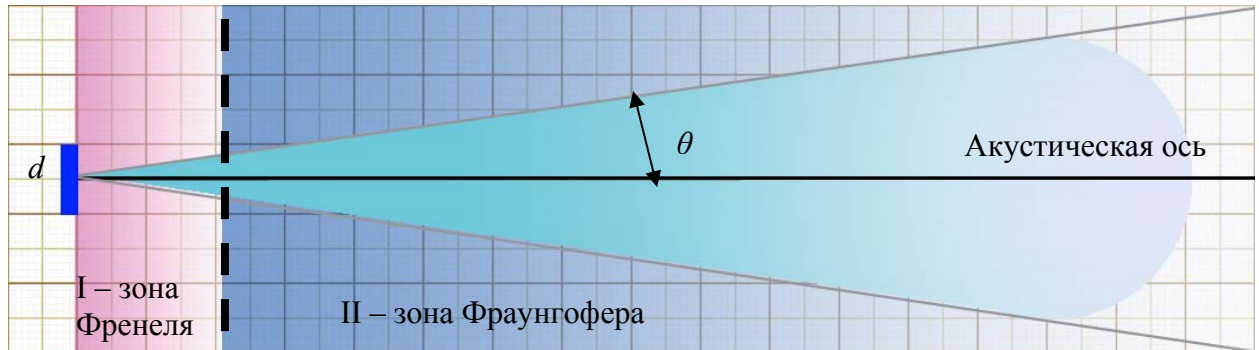


Рисунок 2. Звуковое поле, создаваемое идеальным акустическим излучателем.

В области (I) вблизи излучателя, называемой зоной Френеля, генерируется звуковая волна, близкая к плоской. В области (II) на удалении от излучателя, называемой зоной Фраунгофера, все виды излучения асимптотически принимают вид расходящихся сферических волн. С расхождением волн звуковое давление убывает.

Звуковое поле, создаваемое реальным излучателем, определяется рабочей частотой, размером, мощностью и акустическими фазовыми характеристиками вибрирующей поверхности.

Чем меньше частота излучателя (больше длина волны), тем дальше распространяются звуковые волны (Рисунки 3, 4, 5). Малые частоты имеют меньший коэффициент затухания.

Максимальный коэффициент затухания для частот от 50 до 400кГц можно рассчитать по формуле:

$$a(f) = 0.066f - 1.8 \quad (3),$$

где: $a(f)$ – коэффициент затухания (дБ/м); f – частота ультразвука (кГц) при 20°C, 1атм, ОВВ 80%.

Очевидно, дальность распространения звуковых волн зависит от мощности излучателя и уровня звукового давления, указывающего на объем звука и выражаемого формулой:

$$УЗД = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (4),$$

где: P – звуковое давление излучателя (Ра); P_0 – опорное давление, равное 20μРа.

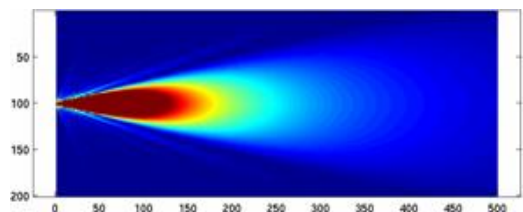


Рисунок 3. УЗ диаграмма 100кГц

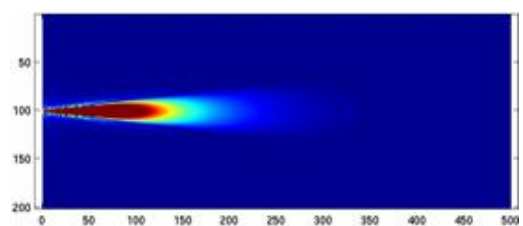


Рисунок 4. УЗ диаграмма 200кГц

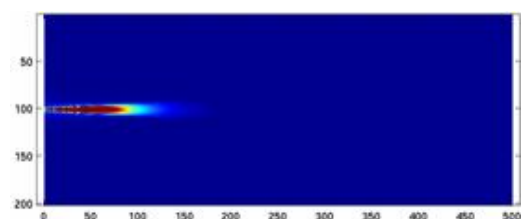


Рисунок 5. УЗ диаграмма 300кГц

Уровни звукового давления, создаваемые излучателями ультразвуковых датчиков приближения, варьируются от 90 до 120дБ.

Снижение уровня звукового давления с увеличением расстояния происходит по закону затухания, а также, в следствии диффузии, вызванной ненаправленным распространением звуковых волн или степенью их концентрации вдоль акустической оси излучателя.

Акустический источник является тем более направленным, чем меньше отношение длины волны излучаемого звука к его размерам. Степень направленности излучателя характеризуется *коэффициентом направленности q*, определяемым как отношение эффективного звукового давления, измеренного в определенном направлении и на определенном расстоянии от центра излучателя, к среднему от эффективных акустических давлений, измеренных на том же расстоянии по всем направлениям от излучателя.

Если $q=1$, излучатель является ненаправленным.

Интенсивность излучения при $q \neq 1$ оценивается по формуле:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} q \quad (5),$$

где: P - эффективное звуковое давление.

Помимо основной волны, распространяющейся вдоль акустической оси, мембранный излучатель, в соответствии с принципом Гюйгенса, генерирует круговые волны, расходящиеся от центра к периферии круга с убывающей амплитудой.

На плоском графике (Рисунок 7) основная волна и круговые волны выглядят как лепестки, благодаря чему получили свои названия: главный и боковые лепестки диаграммы направленности.

Основной пучок, направленный вдоль акустической оси, он же – главный лепесток диаграммы направленности, называется *акустическим лучом*.

Боковые лепестки могут оказаться в зоне чувствительности датчика и негативно повлиять на точность обнаружения, если соотношение амплитуды главного луча к амплитуде боковых волн недостаточно велико. Последнее зависит от электромеханических характеристик пьезоэлектрического излучателя.

Большая амплитуда главного луча с возникновением относительно малых амплитуд боковых волн достигается благодаря импульсу достаточно высокой мощности.

Высокая пиковая мощность достигается за счет импульса высокого напряжения, поданного на пьезоэлектрический элемент; величина импульса должна быть согласована с упругими свойствами материала.

Добротные излучатели позволяют достичь высокого соотношения амплитуд, так чтобы амплитуды боковых волн не выходили за пределы *слепой зоны*.

Еще одним важным преимуществом добротных излучателей является снижение температурной зависимости пьезоэлектрического отклика, - устраняются потери мощности излучателя и чувствительности при низких температурах, благодаря сохранению упругих свойств материалов (меньшая температурная зависимость по модулю Юнга).

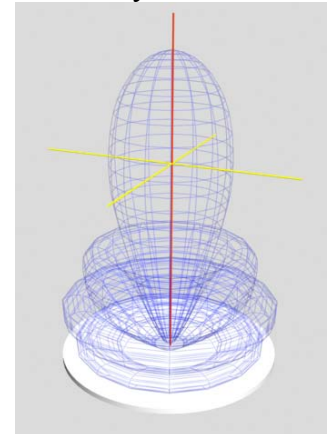


Рисунок 6. Основная волна и круговые волны.

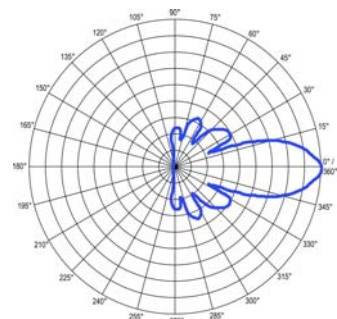


Рисунок 7. Лепестки диаграммы направленности.

В ультразвуковых датчиках, действующих по принципу эхолокации, пьезоэлектрический преобразователь является не только излучателем, но и приемником акустических колебаний. Он называется *трансдюсером*. Основными деталями трансдюсера являются пьезоэлектрический элемент (пьезокерамическая пластина) и резонатор (акустическая мембрана).

Чувствительность трансдюсера указывается в единицах уровня воспринимаемого звукового давления (дБ), выраженного формулой:

$$SEN = 20 \log \frac{S}{S_0} \quad (6),$$

где: S - напряжение датчика (В); S_0 – относительное звуковое давление (В/Па).

Уровни чувствительности датчиков приближения варьируются в пределах от -85 до -45дБ.

Трансдюсеры, действующие в качестве излучателя и приемника могут иметь т.н. *слепую зону*. Двухнаправленное действие подразумевает деление цикла работы трансдюсера на этапы излучения и приема. В процессе излучения функция приема остается выключенной. Если отражающая поверхность находится очень близко к излучателю, то отраженная волна может вернуться к излучателю до момента затухания излучаемого сигнала и вступить с ним в интерференцию. Для того, чтобы этого не случилось в ультразвуковых датчиках резервируется некоторый интервал вблизи трансдюсера, в пределах которого не производится обнаружение, складывающийся из продолжительности излучаемого сигнала и времени усиления. Чаще всего размер слепой зоны составляет не более 10% от всего диапазона обнаружения.

Слепая зона отображается в пользовательской диаграмме направленности (Рисунок 1).

На рисунке 8 показана диаграмма направленности для ультразвукового датчика барьерного типа, состоящего из раздельного излучателя и приемника. Звуковое поле, создаваемое излучателем, имеет характерную форму конуса с углом расхождения:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{d}\right).$$

Зона обнаружения имеет вид параллельного луча с диаметром приблизительно равным диаметру диафрагмы приемника. Ультразвуковой барьер не обнаруживает препятствия, размер которых сопоставим или меньше длины УЗ волны, т.к. в этом случае имеет место дифракция.

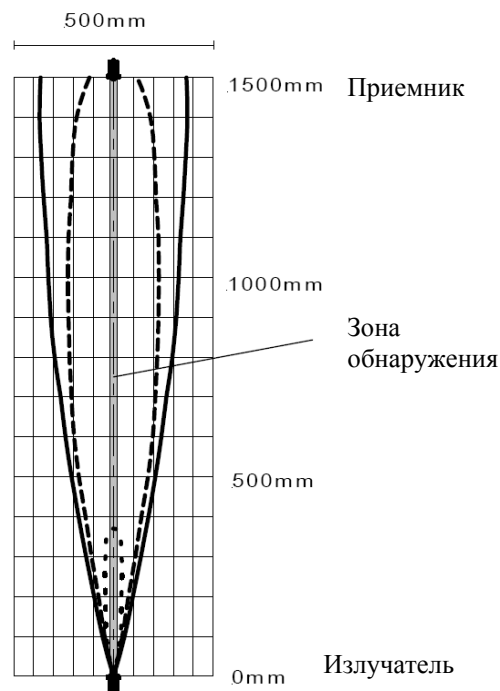


Рисунок 8. Диаграмма для УЗ барьера.