

Лепешкин Олег Михайлович

Ставропольский военный институт связи.
E-mail: lom@stavsu.ru.
355001, г. Ставрополь, проезд. Северный, д. 13.
Тел.: 88652757975; +79054100255.

Lepeshkin Oleg Mihailovich

The Stavropol military institute of communication.
E-mail: lom@stavsu.ru.
13, Severniy, Stavropol, 355001, Russia.
Phone: +78652757975; +79054100255.

УДК 620.179+681.883.753

В.Т. Корниенко**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ В СИСТЕМАХ
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

Целью статьи является анализ применения акустической голографии в системах видеонаблюдения. Задачей явилось выявление особенностей амплитудно-частотных и направленных свойств пьезоэлектрического преобразователя, влияющих на качество изображений. Построен виртуальный прибор в среде LabVIEW для анализа амплитудно-частотных и направленных свойств пьезоэлектрического преобразователя и поперечной разрешающей способности системы акустической голографии.

Акустическая голография; амплитудно-частотная характеристика; характеристика направленности; разрешающая способность.

V.T. Kornienko**APPLICATION OF ACOUSTIC HOLOGRAPHY IN TELEVISION SECURITY
SYSTEMS**

The purpose of this article is the analysis of application of an acoustic holography in television security systems. To reveal the features of frequency characteristics and propagation characteristics of piezoelectric converter which influencing on the images quality is the main task of this article. The virtual device in LabVIEW environment for the analysis of frequency characteristics and propagation characteristics of the piezoelectric converter and cross resolution of acoustic holography system is constructed.

Acoustic holography; frequency characteristic; the characteristic of propagation; resolution.

Особенности методов акустической голографии, такие как трехмерность восстановленного изображения, помехоустойчивость, возможность получения изображения оптически непрозрачного объекта, находят все новые применения в различных областях техники, одно из которых – организация систем охраны объема помещений, в качестве альтернативы видеокамер с инфракрасной подсветкой и тепловизионной техники, работающих в условиях низкой освещенности.

Широко известны применения акустической голографии в подводном звуковидении, медицинской диагностике, в автоматизированных системах ультразвукового контроля, использующихся в дефектоскопии [1, 3]. Данные системы могут служить в качестве аналога и с учетом специфических особенностей и модернизаций найти свое применение при контроле охраняемых объектов. Применение систем с цифровой когерентной обработкой данных позволит получить хорошие результаты по обнаружению объектов, определению их координат и идентификации

в технических средствах систем видеонаблюдения и повысить их эффективность в условиях отсутствия оптической видимости [4, 5].

По измерениям акустического поля, отраженного или рассеянного объектом, акустические изображения слабо коррелируют со своим оптическим образом. Поэтому учет влияния реверберации звука, разрешающей способности системы и ряд других факторов представляются очень важной задачей при получении качественного изображения.

Так как любое когерентное изображение представляет собой совокупность областей, в которых амплитуда изображения отлична от нуля, то решаемой задачей является определение наличия объектов в изображении, выделение их на фоне других объектов иной природы, связанных с акустическими шумами, преобразованием акустических волн и т.д., а также повышение разрешающей способности.

Использование полной информации – амплитудной и фазовой, при регистрации акустических полей обуславливают ряд специфических требований к характеристикам пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) в устройствах акустической голографии. Для получения луча диаграммы направленности $\pm\pi/2$ размеры отдельных ПЭП в приемных решетках или размер одиночного сканируемого ПЭП не должны превышать половины длины волны звука [6]. В системах с синтезированной апертурой, использующих один и тот же ПЭП для излучения и приема, малые волновые размеры преобразователя необходимы и для повышения разрешающей способности системы. Конструктивно создание и использование ПЭП малых волновых размеров не вызывает затруднений на относительно низких ультразвуковых частотах до частот порядка 50...100 кГц. Также важной особенностью применения ПЭП в устройствах акустической голографии являются высокие требования к однородности и стабильности регистрации амплитуд и фаз акустического поля. Фазовые и амплитудные ошибки регистрации акустического поля, которые носят случайный характер, обуславливают частичное нарушение когерентности между объектным и опорным сигналами, что приводит к уменьшению динамического диапазона в измерительных устройствах акустической голографии или к снижению контраста в голографических изображениях.

Выравнивание амплитудных характеристик решается автоматической регулировкой усиления каналов, но получение фазовой однородности и стабильности регистрации представляет сложную задачу. С учетом реальных условий использования ПЭП, таких как нестабильность их свойств, акустическая нагрузка и дрейф параметров электрических цепей, а также нестабильность частоты сигнала вследствие доплеровского эффекта, затруднительно получить малую фазовую ошибку при работе на резонансе. Расширение полосы пропускания ПЭП для сглаживания фазочастотных характеристик, выполняемое различными способами, приводит к уменьшению чувствительности ПЭП.

Для расчета амплитудно-частотной A и фазочастотной θ характеристик чувствительности ПЭП в режиме приема без учета дифракционных явлений для приемников малых волновых размеров известен следующий подход [7]:

$$A = \frac{k_d \cdot k_c \cdot S_{\Pi}}{n} \delta_{\gamma},$$

$$\theta = \arctg \frac{Q \cdot R_M \cdot k_c^2 \cdot (F^2 - 1) / ((F \cdot R_{\Omega}) \cdot (1 - k_c^2)) + F / Q}{(F^2 - 1) - k_c^2 \cdot (R_M / R_{\Omega} + 1) / (1 - k_c^2)},$$

где

$$\delta_{\gamma} = \frac{1}{\sqrt{k_c^2 \cdot \left\{ 1 + 2 \cdot \left[\frac{R_M}{R_3} - \frac{1 - k_c^2}{k_c^2} \cdot (F^2 - 1) \right] \cdot \left(\frac{R_M}{R_3 \cdot F} \right)^2 + \frac{(1 - k_c^2)^2}{k_c^2 \cdot Q^2} \cdot [F^2 + Q^2 \cdot (F^2 - 1)^2] \right\}}},$$

где δ_{γ} – коэффициент частотной зависимости чувствительности приемника; k_d – коэффициент дифракции при приеме; S_n – площадь приемника; n – коэффициент электромеханической трансформации; k_c – коэффициент электромеханической связи; Q – добротность; R_M и R_3 – сопротивление ЭАП с механической и электрической сторон ($R_M/R_3 \rightarrow 0$ в режиме холостого хода); $F = \omega/\omega_0$ – нормированная частота, где ω_0 – частота резонанса.

Для анализа теоретических зависимостей амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик ПЭП при варьировании добротности для параметров $k_c = 0,2$; $R_M/R_3 = 0 \div 0,4$ и $Q = 4$ построен виртуальный прибор в среде LabVIEW, лицевая и диаграммная панели которого приведены на рис. 1 и рис. 2 соответственно. На рис. 3 показано, что при увеличении коэффициента электромеханической связи происходит увеличение амплитуды и смещение от резонансной настройки.

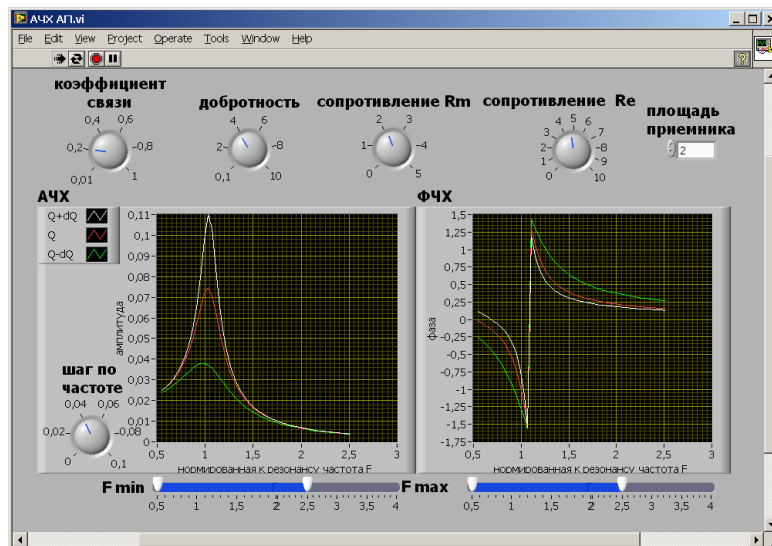


Рис. 1

Задача повышения качества изображений актуальна и может решаться различными способами, один из которых заключается в предварительной обработке эхосигналов с целью повышения разрешающей способности и повышения отношения сигнал/шум.

Для выявления способов повышения спектрального разрешения проведен сравнительный анализ различных методов. Для повышения спектрального разрешения в теории спектрального оценивания широко применяется авторегрессионный метод скользящего усреднения (ARMA) [8-10], позволяющий построить линейную стационарную модель сигнала. Известны реализации этого метода для экстраполяции акустических голограмм при расположении объектов в дальней зоне апертуры приема [11] с целью повышения поперечного разрешения изображения, а также для повышения продольного разрешения при экстраполяции спектров эхосигналов [11]. Выявлено, что особое место среди методов повышения качества изображений занимает метод максимальной энтропии (ММЭ) [12, 13], находящий применение при

восстановлении изображений в томографии [13, 14], в ультразвуковом контроле [12]. Оценка спектральной плотности мощности сигнала, получаемая с помощью AR-модели [11], и спектральная плотность мощности, получаемая ММЭ [12], идентичны в случае описания сигнала, как гауссовского случайного процесса с известной автокорреляционной функцией.

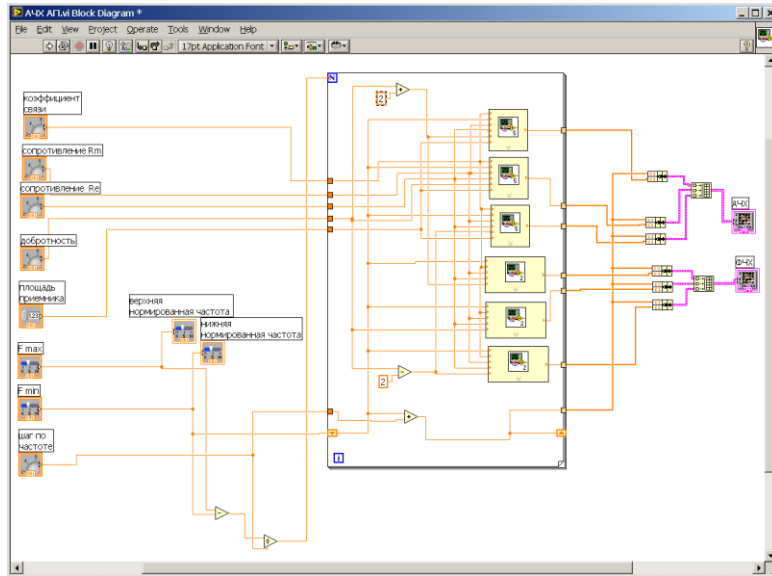


Рис. 2

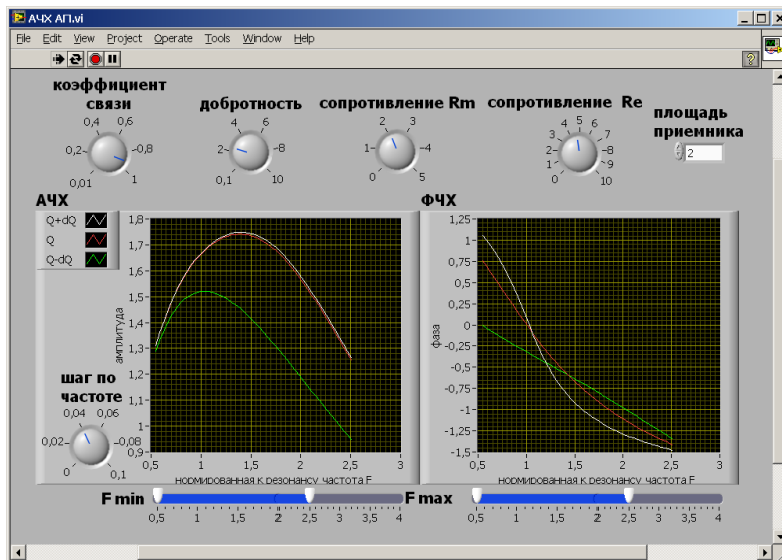


Рис. 3

По известной методике определения разрешающей способности изображений для систем, применяющих когерентную обработку данных, проанализированы поперечное и продольное разрешение [6, 16], в которых прослеживается зависимость от полосы рабочих частот, а используемое выражение для характеристики

направленности приемной апертуры $L(\theta, a)$ представляет собой свертку двух функций: первой, описывающей характеристику обратного рассеяния объекта, зависящую от эффективной площади рассеяния объекта и второй, представляющей характеристику направленности используемого ПЭП [6, 16]:

$$L(\theta, \alpha) = D_{об} \otimes D_{пэп} .$$

Исследована характеристика направленности пьезоэлектрического преобразователя на заданном уровне отсечки θ и при заданном направлении акустических волн на объект в соответствии с выражением [6, 16]

$$D_{пэп}(\alpha, \theta) = \frac{m(\operatorname{tg}(\alpha + \theta) - \operatorname{tg}(\alpha - \theta))}{2\sqrt{1 + [\operatorname{tg}\alpha + 0,5(\operatorname{tg}(\alpha + \theta) - \operatorname{tg}(\alpha - \theta))]^2}}$$

где m – характеристика типа режима.

Проанализировано поперечное разрешение [6, 16]:

$$\Delta x \approx \frac{\lambda \cdot \xi(\alpha, \theta)}{2}$$

где ξ – функция, характеризующая зависимость разрешения от характеристики направленности акустического преобразователя [6, 16]:

$$\xi(\alpha, \theta) \approx \frac{\sin(\theta) - \sin(2 \cdot \pi - \alpha)}{\sin(\sin(\theta) - \sin(2 \cdot \pi - \alpha))} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \cdot \frac{1}{D_{пэп}(\alpha, \theta)}$$

Предельная разрешающая способность системы с когерентной обработкой данных, зарегистрированных в совмещенном режиме, равна $\lambda/2$, т.е. $\xi \cong 1$, но в реальных условиях разрешение изображений ниже и зависит от ширины диаграммы направленности, угла сканирования, применяемого ПЭП, типа используемой акустической волны, используемой полосы частот и вида поля рассеяния объекта.

Для анализа ожидаемых теоретических зависимостей фронтальной разрешающей способности системы акустической голографии в соответствии с ранее приведенными выражениями при варьировании углового направления на объект для выбираемых параметров: частоты ультразвукового колебания и угла отсечки, построен виртуальный прибор [5] в среде LabVIEW, лицевая панель которого приведена на рис. 4. По результатам проведенного эксперимента выявлено, что:

- ◆ при малых углах отсечки $\theta < 5^0$ в пределах углового направления на объект $\alpha < 30^0$ фронтальное разрешение не хуже 0,1 мм, а на границах основного лепестка диаграммы направленности ПЭП $\alpha = 60^0$ фронтальное разрешение увеличивается до 0,35 мм;
- ◆ при увеличении угла отсечки $\theta > 5^0$ образуется провал в диаграмме направленности по направлению главной оптической оси и ухудшение фронтальной разрешающей способности соответственно при $\alpha < 30^0$ и $\alpha = 60^0$ до 3 мм и 12 мм;
- ◆ при углах отсечки $\theta > 30^0$ происходит рост уровня бокового лепестка, и как следствие возникает неоднозначность в разрешающей способности при высоких угловых направлениях на объект, а при $\theta = 45^0$ ширина основного лепестка диаграммы направленности сужается до 45^0 .

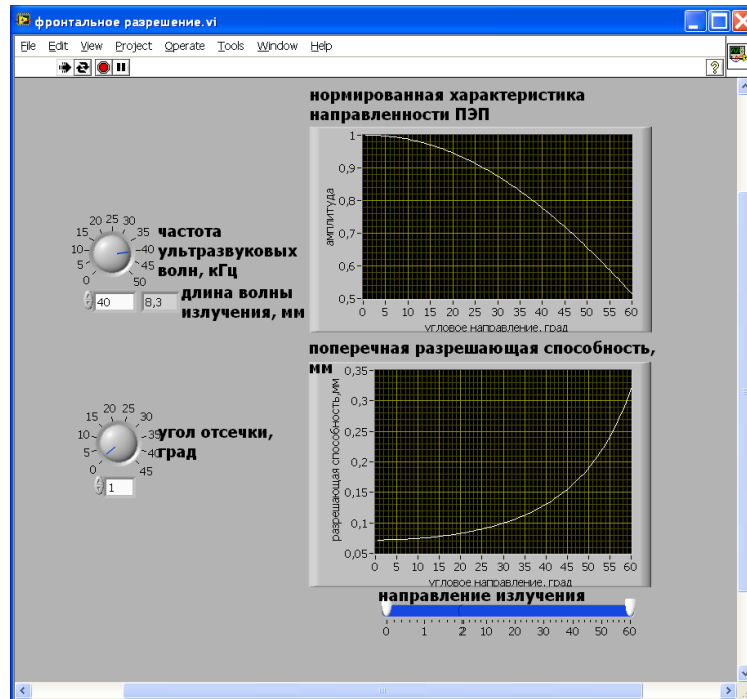


Рис. 4

С учетом изложенного предлагается дальнейшее развитие использования методов акустической голографии в системах видеонаблюдения объемов охраняемых помещений при отсутствии оптической видимости и разработка методов и алгоритмов повышения эффективности их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Базулин Е.Г.* О возможности использования в ультразвуковом контроле двойного сканирования для повышения качества изображения рассеивателей // *Акустический журнал.* – 2001. – Т. 47, № 6. – С. 741-745.
2. *Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Тихонов Д.С.* Влияние неровной поверхности на качество изображения в цифровой акустической голографии // *Дефектоскопия.* – 1989. – № 11. – С. 51-60.
3. *Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Вовилкин А.Х., Тихонов Д.С.* Использование трансформированных волн для получения изображений вертикальных трещин по многочастотным цифровым акустическим голограммам // *Дефектоскопия.* – 1993. – № 6. – С. 3-9.
4. *Гиниятуллин Л.П.* Системы охраны объектов на основе методов акустической голографии // *Сборник тезисов докладов II Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Роль системотехники в инженерных исследованиях».* – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – С. 22.
5. *Гиниятуллин Л.П., Корниенко В.Т.* Использование акустической голографии в системах видеонаблюдения оптически непрозрачных контролируемых объемов // *Материалы XI Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность».* Ч. 1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 140-143.
6. *Бадалян В.Г.* Погрешность измерения дефектов с использованием систем с когерентной обработкой данных // *Дефектоскопия.* 2003.
7. *Качанов Е.И., Пигулевский Е.Д., Яричин Е.М.* Методы и средства гидроакустической голографии. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.

8. *Abdel-Aal R.E., Macleod C.J., Durrani T.S.* Expansion of acoustic hologram aperture using ARMA modeling techniques // *Acoustical Imaging*. – 1982. – Vol. 12. – P. 679-707.
9. *Takuso Sato, Takayoshi Yokota, Osameu Dceda* An optimum ultrasonic imaging system using ARMA processing // *Acoustical Imaging*. – 1981. – Vol. 11. – P. 289-308.
10. *Pao Yoh-han, Glen V., El-sherbini A.* High resolution ARMA model reconstruction for NDE ultrasonic imaging // *Rev. progr. qant. NDT*. – 1983. – Vol. 2B. – P. 1625-1641.
11. *Toyokatsu Miyashita, Horst Schwelick, Werner Kessel* Recovery of ultrasonic impulse response by spectral extrapolation // *Acoustical Imaging*. – 1984. – Vol. 14. – P. 247-256.
12. *Базулин А.Е., Базулин Е.Г.* О возможности использования в ультразвуковом неразрушающем контроле метода максимальной энтропии для повышения качества изображения рассеивателей // *Акустический журнал*. – 2005. – Т. LI, № 4. – С. 1-13.
13. *Demoment G. and Mohammad-Djafari A.* Maximum entropy Fourier synthesis with application to diffraction tomography // *Applied Optics*. – 1987. – Vol. 26. – P. 1745-1754.
14. *Toyokatsu Miyashita, Horst Schwelick, Werner Kessel* Recovery of ultrasonic impulse response by spectral extrapolation // *Acoustical Imaging*. – 1984. – Vol. 14. – P. 247-256.
15. *Базулин Е.Г.* Получение изображения рассеивателей с продольным сверхразрешением по многочастотным цифровым акустическим голограммам при построении AR-модели спектров эхосигналов // *Акустический журнал*, – 1993. – Т. XXXIX, № 2. – С. 213-222.
16. *Бадалян В.Г.* Влияние стробирования на разрешающую способность систем акустической голографии // *Дефектоскопия*. – 1987. – № 4. – С. 56-63.

Корниенко Владимир Тимофеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: vlad_korn65@mail.ru.

347924, г. Таганрог, ул. Дзержинского, 170, кв. 53.

Тел.: +79515271225.

Kornienko Vladimir Timofeevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: vlad_korn65@mail.ru.

170, fl. 53, Dzerzinsky street., Taganrog, 347924, Russia.

Тел.: +79515271225.