

УДК 534.2

Н.П. Красненко, А.Н. Кудрявцев, А.С. Раков, Д.С. Раков, Д.А. Шендрик

## Мощные акустические антенные решетки

Рассмотрены разработанные модели акустических фазированных антенных решеток. Приводятся их характеристики и состав.

**Ключевые слова:** антенная решетка, диаграмма направленности, звуковое давление, дальность действия, звуковое вещание.

Одной из областей приложения мощных излучающих акустических систем является звуковое вещание [1–2], которое можно характеризовать как метод информационно-психологического воздействия на людей. Он осуществляется путем передачи посредством звуковещательных станций (и других источников направленного действия) различных сигналов, сообщений и программ для восприятия удаленными слушателями на различных расстояниях. Также антенные решетки используются в акустических локаторах для зондирования атмосферы.

Система дальнего звукового вещания состоит из широкополосной излучающей системы, канала передачи информации (распространения звуковых волн) и приемной системы (слушателя) – субъекта с его органами слуха (рис. 1). Широкополосная излучающая система служит для генерации, формирования и излучения полезного сигнала. В канале распространения происходит взаимодействие полезного сигнала с атмосферой, подстилающей поверхностью, где последние существенно искажают и ослабляют сигнал. В качестве приемника может использоваться как специальная акустическая приемная аппаратура, например направленный микрофон, так и обычный человек или группа людей. Существуют разнообразные стационарные и мобильные звуковещательные станции (ЗС) наземного и воздушного базирования с различной дальностью вещания. Наземные мобильные станции обычно размещаются на транспортных средствах повышенной проходимости.

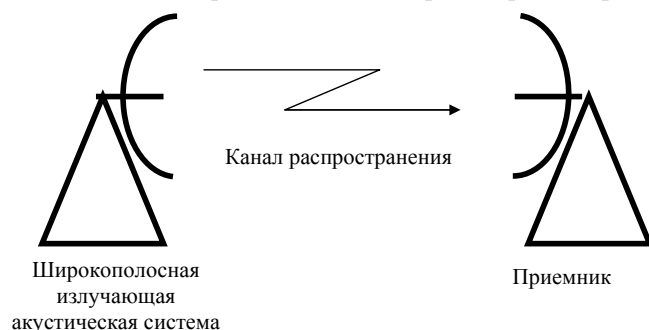


Рис. 1. Система звуковой связи

Общая стоящая перед всеми разработчиками ЗС проблема – это увеличение дальности звукового вещания и соответственно зоны уверенного озвучивания. Она обеспечивается прежде всего мощными источниками звуковых колебаний направленного действия. Однако создание все более мощных (и, следовательно, более тяжелых и громоздких) станций не позволяет полностью решить эту задачу, поскольку в конечном итоге определяющим фактором является сама атмосфера (атмосферный канал распространения звуковых волн) [1, 3].

Наращивание мощности излучения в направленный звуковой пучок свыше определенного порога приводит к нелинейным эффектам и к режиму насыщения уровня звукового давления на фиксированном расстоянии.

Главная проблема в звуковом вещании на большие расстояния – неопределенность в результатах озвучивания заданного пункта – может быть решена только с помощью устройства прогнозирования дальности звукового вещания [3]. В то же время существует постоянная потребность в создании мощных мобильных (возимых, носимых) излучающих систем направленного действия для реализации данной задачи.

**Модели мощных акустических антенных решеток.** В мире создан достаточно большой ряд излучающих акустических установок на основе акустических антенных решеток. Наибольшую известность в мире получила система LRAD 1000 (и ее разновидности) – это акустическая система предупреждения и реагирования, производимая компанией American Technology Corporation (США) [4], и др. Аббревиатура названия установки LRAD расшифровывается как «Long Range Acoustic hailing Device» – оповещающее устройство дальнего действия. В качестве элементов решетки используются рупорные излучатели в количестве 85 шт. Диаметр излучающей системы 838 мм, тол-

щина 155 мм. Масса излучающей системы без дополнительных устройств составляет 20,4 кг. Дальность действия в режиме вещания, согласно рекламе до 1000 м. Широкою известность данное устройство получило после рекламы его применения для отражения атаки пиратов на судно у берегов Сомали.

Пожалуй, наиболее мощной из рекламируемых в мире известных акустических излучающих систем является акустическая система HS-60 (Hyperspike) компаний Wattre Inc. и Ultra Electronics (США) [5]. Но она уже является стационарной, состоит из набора электродинамических громкоговорителей. Рекламируемый уровень приведенного к 1 м звукового давления составляет 182 дБ, что не внушает доверия в большой дальности действия (выше упоминалось о нелинейных эффектах).

Отечественные разработки акустических излучающих систем имеют аналогичные характеристики по дальности действия, а некоторые и превосходят зарубежные изделия. Так, например, звуковещательная станция ЗС-96.03 с устройством прогнозирования дальности звукового вещания УПДЗС-01.03 [1, 3]. Станция монтируется на бронетранспортер БТР-80. Излучающая система – антенная решетка из 24 рупорных громкоговорителей, дальность приема речевых сообщений в благоприятных условиях – до 7 км. Потребляемая электрическая мощность около 2 кВт.

В последнее время нами были разработаны несколько образцов мобильных излучающих звуковых установок направленного действия [2, 6, 7]. На рис. 2 показан внешний вид трех таких установок: АИ-40, АИ-91 и ее модификация.

Созданные акустические излучатели большой мощности обеспечивают генерацию узконаправленного луча звуковых волн с максимумом излучения в области частот 2000–3000 Гц. Они используются для звукового вещания в целях оповещения и предупреждения. В их состав, кроме непосредственно излучающей системы, входят также портативный компьютер и источник питания. Акустический излучатель представляет собой антенную решетку из отдельных электроакустических преобразователей. Блок управления акустической антенной решеткой представляет собой переносной промышленный компьютер, выполненный в защищенном варианте с установленным на него специально разработанным программным обеспечением. Общая блок-схема работы звуковой установки показана на рис. 3.

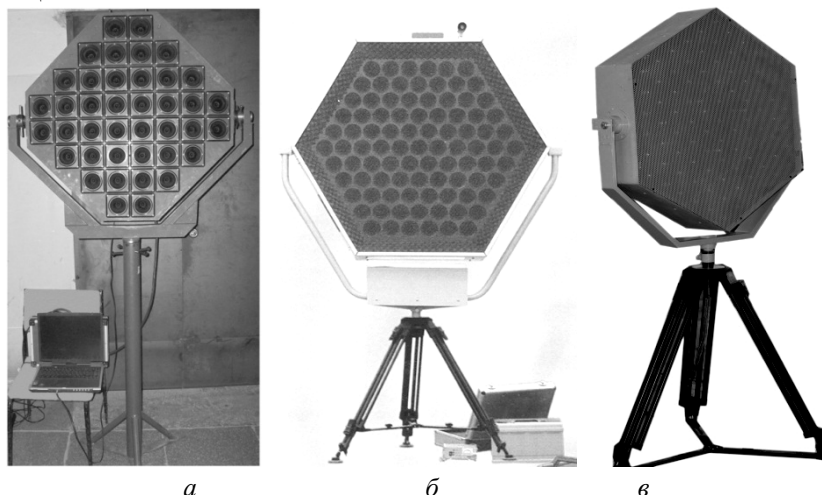


Рис. 2. Внешний вид акустических излучателей (АИ-40 – слева), сбоку ноутбук и автомобильный аккумулятор

В качестве элементов антенной решетки излучателей использованы пьезоэлектрические преобразователи (громкоговорители), развивающие максимальное акустическое давление на резонансной частоте до 115 дБ на расстоянии 1 м. Выбор преобразователей обусловлен такими достоинствами пьезоэлектрических громкоговорителей, по сравнению с электродинамическими, как меньшая масса и больший КПД. Недостатками пьезоэлектрических громкоговорителей являются высокочастотность и неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). При использовании широкополосных сигналов в системах звукового вещания эти недостатки нивелируются с расстоянием фильтрующими свойствами самой атмосферы [1]. Стоит сказать, что методы расчета акустических антенных решеток совпадают с методами расчета антенных решеток радиодиапазона.

Отдельно необходимо добавить, что переход от модели АИ-40 к модели АИ-91 был вызван малым коэффициентом использования эффективной площади разработанной антенной решетки. Поэтому путем модификации размера электроакустического преобразователя удалось на ту же площадь излучающей апертуры вписать большее количество излучателей (91 излучатель). Конструктив модели АИ-91М, в отличие от АИ-91 был сделан из композитных материалов, применена цифровая усилительная электроника, что позволило уменьшить габаритные размеры и существенно выиграть в массе.

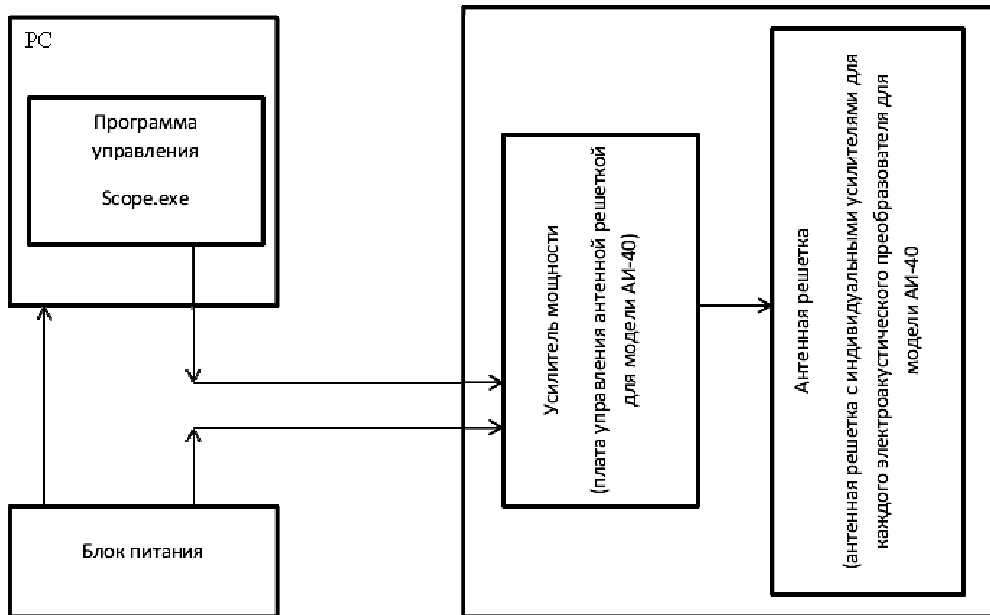


Рис. 3. Блок-схема мощной акустической антенной решетки

Модель АИ-40 оснащена индивидуальными усилительными модулями для каждого электроакустического преобразователя, в то время как две модели АИ-91 имеют в своем составе один общий усилитель мощности одновременно на все электроакустические преобразователи. Также стоит отметить, что модель АИ-40 путем небольшой доработки программного обеспечения и электронной части модернизируется в систему с электронным управлением направлением диаграммы направленности.

Программное обеспечение позволяет задавать различные виды и параметры сигналов, такие как частота, длительность излучения, пауза между посылками, вид сигнала (синусоидальный, ЛЧМ, белый шум и др.). Для расчета уровня звука в заданной точке имеется возможность прогнозирования из выпадающего списка в программе, выбирать параметры подстилающей поверхности, высоту расположения источника звука и приемника звука, а также задавать параметры окружающего шума. Внешний вид главного окна программы показан на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид главного окна программы

Для расчета ослабления звука, обусловленного атмосферным поглощением, предусмотрено получение данных с внешнего блока измерения метеорологических параметров, содержащего измерители давления, влажности и температуры воздуха.

Для передачи речевых сообщений также используется микрофон. Источником питания для мобильных установок служит аккумуляторная батарея 12(24) В, обеспечивающая возможность непрерывной работы в течение часа. Также в стационарных условиях эксплуатации имеется возможность подключения к сети 220 В. Представленные излучающие установки использовались при проведении экспериментальных исследований по приземному распространению звуковых волн [6].

Испытания мощных акустических антенных решеток проводились в натуральных условиях и включали в себя эксперименты по определению максимальной мощности антенной решетки и по определению характеристик направленности антенной решетки.

В качестве дополнительного оборудования при приеме сигналов использовался шумомер фирмы «Bruel&Kjer» – Mediator 2238. Исходный акустический сигнал на антенную решетку подавался с программы генератора сигналов через линейный выход ноутбука. В качестве примера на рис. 5 приведены результаты измерения диаграммы направленности для АИ-40.

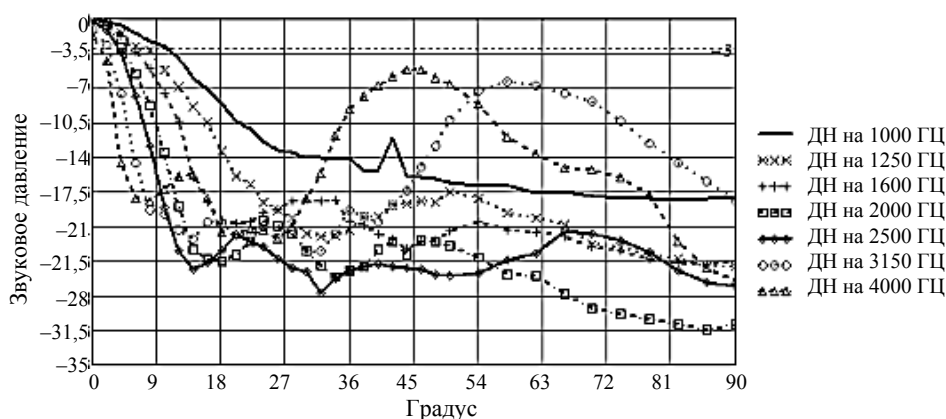


Рис. 5. Экспериментальные результаты измерения диаграммы направленности АР

Характеристики мощных акустических антенных решеток и значения максимальной мощности, а также ширины диаграммы направленности, полученные в ходе экспериментов, приведены в таблице.

**Характеристики мощных акустических антенных решеток**

Акустический излучатель	АИ-40	АИ-91
Число элементов	40	91
Потребляемая электрическая мощность, Вт	450	1000
Максимальное акустическое давление, дБ/м	145	155
Габариты, мм	1000×1000×300	1237×1392×296 (950×900×200 для АИ-91М)
Ширина ДН	15...7° (2000...5000 Гц)	15...7° (2000...5000 Гц)
Резонансная частота, Гц	2350 Гц	2350 Гц
Минимальная рабочая температура, °С	-30 °С	-30 °С
Масса, кг	40 (без учета штатива и блока управления)	60 (без учета штатива и блока управления) (25 для АИ-91М)
Расположение элементов	Квадратная сетка	Гексагональная сетка
Дальность вещания	Не менее 1000 м	Не менее 1500 м
Кол-во усилителей	40 шт.	1 шт.

**Заключение.** В статье рассмотрены разработанные модели мощных излучающих акустических антенных решеток для атмосферных приложений. Приведены их технические характеристики. Обладая такими достоинствами, как малые масса, размеры и энергопотребление, мобильность и быстрая разворачиваемость на местности, предложенные модели могут успешно использоваться для дальней звуковой связи в атмосфере, при проведении экспериментов по распространению звука в приземном слое атмосферы в различных метеорологических условиях и при различной подстилающей поверхности, а также для зондирования атмосферы.

*Литература*

1. Красненко Н.П. Дальнее звуковое вещание: проблемы, итоги, возможности // Сверхширокополосные сигналы в радиолокационных и акустических системах: конспекты лекций / Науч. совет по распространению радиоволн. – Муром: Изд. полиграф. центр МИ ВлГУ, 2006. – С. 96–115.
2. Красненко Н.П. Системы дальнего звукового вещания и воздействия в атмосфере / Н.П. Красненко, В.Н. Абрамочкин // Сб. матер. Всерос. науч.-техн. конф. «Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана». – Новосибирск. СибГУТИ, 2010. – С. 105–110.
3. Красненко Н.П. Приземное распространение звуковых волн в атмосфере // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2 (22). – С. 86–95.
4. URL: [www.atcsd.com](http://www.atcsd.com) (дата обращения: 25.09.2013).
5. URL: [www.ultra-hyperspike.com](http://www.ultra-hyperspike.com) (дата обращения: 25.09.2013).
6. Технические средства для исследования приземной атмосферы и распространения звуковых волн / Н.П. Красненко, А.Н. Кудрявцев, Д.С. Раков, П.Г. Стафеев // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, № 2. – С. 158–164.
7. Мощные излучающие акустические антенные решетки / Н.П. Красненко, А.С. Раков, Д.С. Раков, Ц.Д. Сандуков // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – №3. – С. 129–130.

**Красненко Николай Петрович**

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. радиотехнических систем ТУСУРа,  
вед. науч. сотрудник Института мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН)  
Тел.: 8 (382-2) 49-24-18  
Эл. почта: [krasnenko@imces.ru](mailto:krasnenko@imces.ru)

**Кудрявцев Андрей Николаевич**

Вед. электроник Института оптики атмосферы СО РАН

**Раков Александр Сергеевич**

Мл. науч. сотрудник ИМКЭС СО РАН

**Раков Денис Сергеевич**

Канд. техн. наук, мл. науч. сотрудник ИМКЭС СО РАН  
Тел.: 8 (382-2) 49-24-18  
Эл. почта: [rakov@imces.ru](mailto:rakov@imces.ru)

**Шендрик Данил Александрович**

Асп. ИМКЭС СО РАН

Krasnenko N.P., Kudryavtsev A.N., Rakov A.S., Rakov D.S., Shendrik D.A.

**Powerful acoustic phased arrays**

The paper presents the developed acoustic phased array antennas and describes the characteristics and the composition of the antennas.

**Keywords:** antenna array, antenna pattern, sound pressure, range, sound broadcasting.