АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIV 1988 Вып. 2

УДК 534.88

КОМПЛЕКС УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН

Бункин Ф. В., Вавилин А. В., Валько Н. Н., Кравцов Ю. А., Магаршак А. С., Петников В. Г., Раввин А. В., Соколенко А. С., Хохрин Л. П.

В работе описывается комплекс аппаратуры для формирования диаграммы направленности линейной акустической антенны, приводятся результаты натурных экспериментов по формированию диаграммы направленности линейной горизонтальной антенны, а также по измерению выигрыша в соотношении сигнал/шум, обеспечиваемого антенной по сравнению с одиночным датчиком.

В данной работе описывается комплекс аппаратуры для формирования диаграммы направленности линейной акустической антенны, приводятся результаты натурных экспериментов по формированию диаграммы направленности линейной горизонтальной антенны, а также по измерению выигрыша в соотношении сигнал/шум, обеспечиваемого антенной по сравнению с одиночным датчиком.

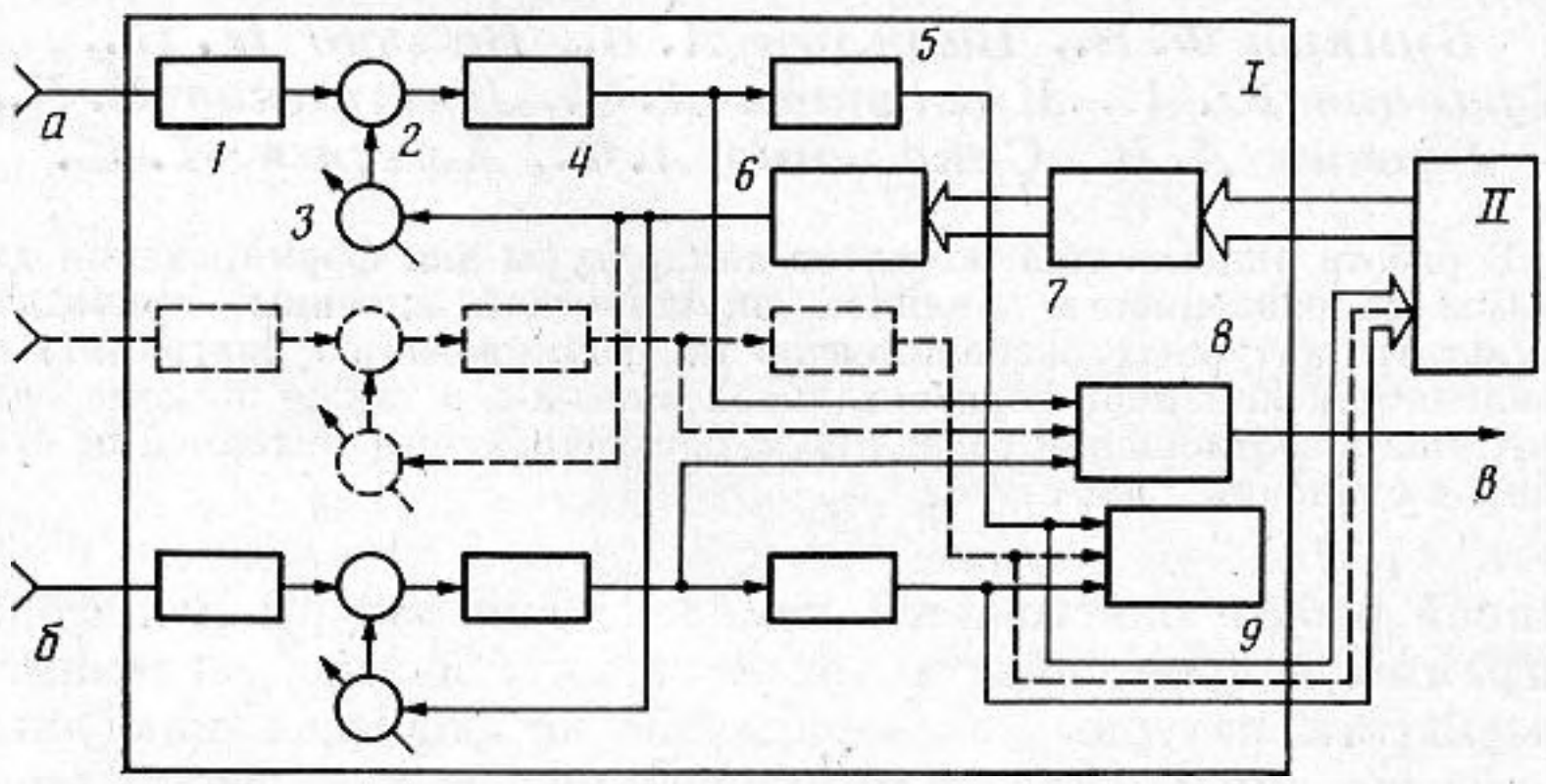
В состав комплекса входят многоканальное устройство коррекции фазовых искажений (МУКФИ) и микро-ЭВМ «Электроника-60». Принцип работы МУКФИ основан на коррекции разности фаз сигналов, поступающих от отдельных приемников антенны, и последующем их синфазном сложении. Отличительной особенностью работы МУКФИ является необычный способ коррекции фазы, заключающийся в том, что сигнал по каждому из входных каналов гетеродинируется на низкую промежуточную частоту, а коррекция фазы осуществляется в канале гетеродина в отличие от традиционных методов формирования фазовых сдвигов, основанных на применении линий задержки (система DIMUS [1]) и связанных со значительными аппаратурными затратами.

Как и всякое устройство фазового типа, МУКФИ позволяет работать лишь с узкополосными сигналами (максимальное значение ширины полосы входного сигнала 17 Гц), но частота гетеродина может меняться от 50 до 1000 Гц, что позволяет работать с сигналами в диапазоне частот от 50 до 1000 Гц.

Структурная схема комплекса представлена на фиг. 1. МУКФИ имеет 48 идентичных каналов. Каждый канал имеет входной согласующий усилитель с дискретно изменяемым коэффициентом усиления и встроенным полосовым фильтром *1*, настроенным на несущую частоту входного сигнала. Перестройка коэффициента усиления и переключение центральной частоты полосового фильтра на одно из двух возможных значений осуществляется одновременно по всем каналам. Операция гетеродинирования осуществляется с помощью перемножителя *2* ключевого типа. С помощью фильтра низких частот *4* с полосой 0—17 Гц выделяется сигнал с разностной частотой относительно частоты сигнала гетеродина *6*. Гетеродин имеет кварцевую стабилизацию частоты с относительной стабильностью частоты порядка 10^{-8}. Дискретность перестройки частоты гетеродина порядка 0,06 Гц во всем рабочем диапазоне частот обеспечивается цифровым синтезатором с дробным коэффициентом деления. Коррекция фазы в диапазоне $0-2^{\pi}$ осуществляется в канале гетеродина с помощью фазовращателя *3*, выполненного на цифровых микросхемах и имеющего 32 дискретных значения фазы. По желанию оператора значения корректирующих фазовых сдвигов по каждому каналу заносятся в один из четырех кубов запоминающего устройства *7*. Наличие четырех

кубов памяти позволяет практически мгновенно изменять набор корректирующих фазовых сдвигов и тем самым перестраивать диаграмму направленности линейной антенны на одно из четырех заранее выбранных направлений. С выхода фильтров *4* сигналы поступают на фазометры *5* и на аналоговый сумматор *8*, формирующий выходной сигнал МУКФИ. Скорректированные значения фаз входных сигналов отображаются на матричном газоразрядном дисплее *9*.

МУКФИ снабжено двунаправленным параллельным интерфейсом, позволяющим прибору передавать данные в микро-ЭВМ через стандарт-



Фиг. 1. Структурная схема комплекса: *а* – вход 1, *б* – вход 48, *в* – выход, I – МУКФИ, II – ЭВМ

ный параллельный интерфейс и работать под ее управлением. Это обеспечивает управление фазами сигналов в МУКФИ не только вручную (руководствуясь данными, отображаемыми на дисплее), но и по расчетам ЭВМ.

Пакет программ, разработанный для автоматизации работы МУКФИ, позволяет: считывать текущее значение фазы для каждого канала с частотой до 10 Гц; усреднять значения фазы в пределах заданного интервала времени, что увеличивает точность измерения фазы в присутствии акустических шумов; записывать корректирующие значения фазы в один из четырех кубов оперативной памяти МУКФИ, изменяя фазы гетеродина и формируя тем самым диаграмму направленности акустической антенны (длительность этой операции не превышает 1 с.); переключать кубы памяти МУКФИ, оперативно фазируя антенну на одно из четырех направлений; записывать полученные с МУКФИ данные на магнитный диск для длительного хранения.

Необходимо отметить, что комплекс МУКФИ-ЭВМ можно использовать для измерения флуктуаций фазового фронта приходящей волны [2], которые удается автоматизировать, измеряя текущие значения фаз и записывая их на магнитный диск.

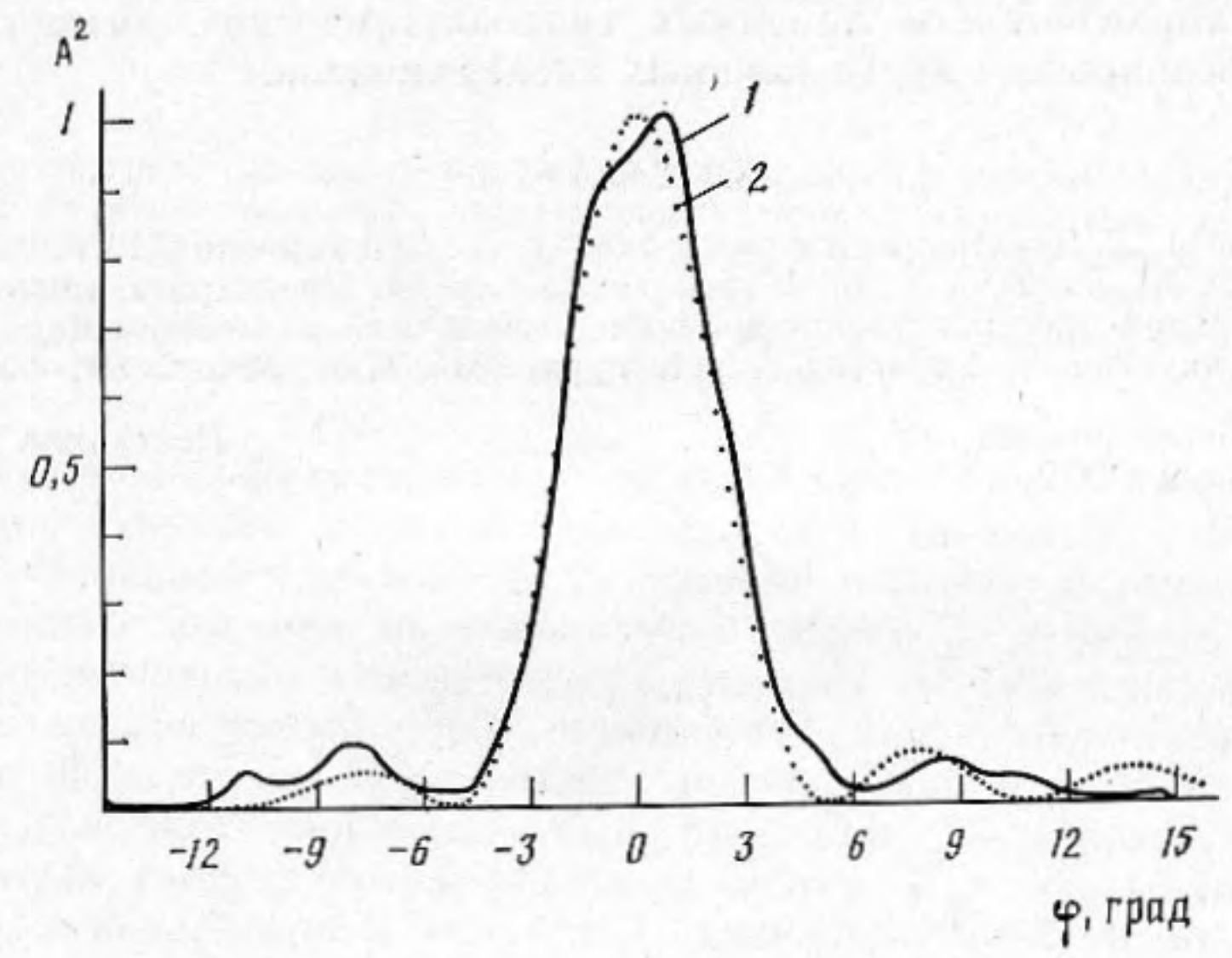
МУКФИ имеет большой набор сервисных устройств, значительно облегчающих работу с прибором. В состав сервисного оборудования входят индикаторы уровня входных сигналов, включенного куба памяти, значения фазы коррекции в каждом канале гетеродина, текущего значения частоты гетеродина, часы-календарь.

Описываемый комплекс аппаратуры использовался для формирования диаграммы направленности квазилинейной горизонтальной гидроакустической антенны. Антенна представляла собой горизонтальную двадцатиэлементную эквидистантную цепочку гидрофонов. Отношение расстояния между гидрофонами l к длине звуковой волны λ тонального сигнала, используемого в экспериментах, составляло $l/\lambda=0{,}47$. Отклонение местоположения отдельных гидрофонов от прямой линии не превышало $0{,}8\lambda$.

Для фазировки антенны на заданное направление корабль с буксируемым акустическим излучателем ложился в дрейф на время $t_0=120$ с в дальней волновой зоне на расстоянии r от цепочки гидрофонов $r \gg l_a^2/\lambda$,

$l_a = 19l$ — общая длина цепочки из двадцати элементов. Направление фазирования не сильно отклонялось от перпендикуляра к цепочке гидрофонов. В течение времени t_0 определялось среднее значение фазы тонального сигнала, принимаемого каждым гидрофоном, вносилась необходимая фазовая коррекция. Смещение корабля Δr за время t_0 было малым по сравнению с шириной лепестка диаграммы направленности $\lambda r/l_a$, так что дрейф фактически не влиял на результаты измерений.

Для проверки качества сформированной диаграммы направленности были выполнены два эксперимента. Во время первого эксперимента



Фиг. 2. Кривые прохода

корабль с излучателем звука пересек под углом 90° предполагаемую ось диаграммы направленности, излучая тональный сигнал частоты f. На приемном конце измерялось отношение ξ квадрата амплитуды сигнала A_Σ^2 с выхода МУКФИ (сигнала со сфазированной антенны) к квадрату амплитуды сигнала с одиночного гидрофона антенны $\xi = (A_\Sigma / / A_1)^2$. Измерение амплитуды сигнала с одиночного гидрофона осуществлялось синхронно с измерениями амплитуды A_Σ. Для этого сигнал с одиночного гидрофона подавался одновременно на все каналы другого МУКФИ, идентичного первому. Корректирующие значения фазы во всех каналах второго МУКФИ были одинаковыми.

Время измерения составляло 40 с. Усреднение амплитуд сигналов в течение 40 с позволило существенно снизить колебания величины ξ, обусловленные интерференцией. Результаты измерений показаны на фиг. 2, где *1* — зависимость нормированной величины ξ от угла φ между осью диаграммы направленности и направлением на источник. Точность определения величины φ составляла ~0,2°. Полученная кривая передает форму главного лепестка сформированной диаграммы направленности антенны. Расчетная форма этой же кривой при идеальной фазировке элементов приведена на фиг. 2, *2*. Как видно из фиг. 2, наблюдается хорошее соответствие между экспериментом и расчетом. Иными словами, фазирующее устройство оказалось способным существенно приблизиться к дифракционному пределу, отвечающему идеальной антенне.

Во время второго эксперимента корабль с излучателем звука двигался от антенны вдоль оси диаграммы направленности на расстояние до 40 км. Использовался следующий режим излучения звуковых сигналов: в течение 300 с излучался тональный сигнал частоты f, 20 с занимала пауза, затем 25 с излучался узкополосный сигнал с гиперболической частотной модуляцией и относительной девиацией частоты $\Delta f/f = 1{,}8$ с и затем снова следовала пауза в 75 с. Затем цикл повторялся. При обработке осуществлялось амплитудное детектирование принятого

сигнала в полосе частот 17 Гц при постоянной времени последетекторного фильтра 25 с и определялось отношение сигнал/шум при приеме тонального и частотно-модулированного сигналов. Кроме того, измерялся выигрыш, обеспечиваемый антенной по отношению к сигналу от одиночного гидрофона. Оказалось, что выигрыш в отношении сигнал/шум составил для тонального сигнала 9±2 дБ, а для частотно-модулированного сигнала 7,5±3 дБ.

Проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность применения созданного комплекса МУКФИ — ЭВМ для формирования диаграммы направленности линейных гидроакустических антенн с целью проведения широкого круга научных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Простаков А. Л.* Электронный ключ к океану. Л.: Судостроение, 1978.
2. *Бункин Ф. В., Вавилин А. В., Журавлев В. А. и др.* Предварительные результаты исследования пространственно-временной изменчивости мелкого моря на стационарной акустической трассе // Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 5. С. 594–598.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
25.VI.1987