

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Атмосфера Земли представляет собой важный элемент окружающей среды. Погода и климат Земли определяются разнообразными процессами, протекающими в толще атмосферы. Для достоверного предсказания поведения атмосферы необходимо знать ее характеристики на различных высотах, в разных районах и в различные моменты времени.

Пограничный слой (ПС) атмосферы, где происходят механическое взаимодействие и термодинамический обмен движущихся воздушных масс с подстилающей поверхностью, является областью, которая в наибольшей степени подвержена воздействию выбросов газообразных продуктов антропогенного происхождения. В свою очередь, ПС существенно влияет на производственную деятельность и условия жизни человека. Повышение точности измерений метеорологических величин в ПС атмосферы и улучшение моделей кратко- и долгосрочного прогнозирования погоды представляет большой научный и практический интерес.

Использование акустического излучения для дистанционного зондирования атмосферы базируется на способности акустических волн рассеиваться на неоднородностях, образованных атмосферной турбулентностью. Взаимодействие акустических волн с такими объектами намного сильнее, чем у электромагнитных волн большинства областей спектра.

Теория рассеяния звука на турбулентности впервые была предложена в 1941 г. А.М. Обуховым [1], получила дальнейшее развитие в работах В.И. Татарского [2], А.С. Мониной [3] и экспериментально проверена М.А. Каллистратовой [4].

Первый метеорологический акустический локатор был создан и испытан в 1968 г. в Австралийском НИИ вооружения [5]. С этого момента началось интенсивное развитие акустического зондирования. В СССР и затем СНГ работы по акустическому зондированию проводятся с 1974 года. В России они выполняются в институтах Российской академии наук — Институте оптики атмосферы, Институте радиотехники и электроники, Институте физики атмосферы, а в Украине — в Харьковском государственном техническом университете радиоэлектроники (ХТУРЭ).

Уже первые результаты показали широкие возможности метода акустического зондирования при исследовании термической структуры атмо-

сферы (конвективных потоков, инверсионных слоев, внутренних гравитационных волн), измерении параметров турбулентности и скорости ветра.

Начало работ по акустическому зондированию в ХТУРЭ. Исследования метода акустического зондирования атмосферы на кафедре радиотехнических систем ХТУРЭ проводились с начала 70-х годов. Первые работы были посвящены созданию акустических излучателей повышенной мощности, расчету частотно-энергетических соотношений в акустической локации атмосферы [6], выбору оптимальных частот акустического зондирования нижнего слоя атмосферы [7], теоретическому и экспериментальному изучению статистических характеристик акустических помех [8]. Исследования показали, что ввиду сильного поглощения акустических колебаний последние могут быть эффективно использованы только для изучения нижней части пограничного слоя атмосферы. Увеличение дальности зондирования достигается переходом к использованию низких частот (до 100 Гц), что резко увеличивает габаритные размеры антенных систем излучателей звука и стоимость аппаратуры. В силу этого основное внимание уделялось разработке относительно недорогих мобильных систем, которые легче могли бы найти практическое применение.

При первых успешных попытках практического применения метода акустического зондирования, как правило, использовались моностатические акустические лоаторы с однопозиционной вертикально-ориентированной приемно-передающей антенной, импульсным зондирующим сигналом, факсимильной регистрацией эхо-сигнала. Такие лоаторы позволяли выявлять вертикальную стратификацию атмосферы и устанавливать наличие зон инверсии температуры и повышенной турбулентности. Методики зондирования для измерения вертикальных профилей скорости ветра требовали оптимизации геометрий зондирования, а также освоения техники измерения доплеровских сдвигов частоты с достаточно высокой точностью, для чего необходимо было обеспечивать высокое соотношение сигнал-помеха.

В акустических системах зондирования максимальная мощность зондирования, как правило, ограничена механической прочностью электроакустических преобразователей, поэтому превышение допустимой мощности недопустимо даже в импульсе.

Генерация и прием акустических импульсов с большой базой затруднительны из-за сложности обеспечения требуемой равномерности амплитудно-частотной характеристики приемно-передающих трактов. Поэтому для повышения точности измерений в условиях воздействия внешних помех в работе [9] было предложено реализовать режим с непрерывным зондирующим сигналом и разнесенными в пространстве передающей и приемной антеннами (бистатистический режим). Данный режим имеет следующие преимущества: простоту схемы и конструкции, отсутствие «мертвой зоны», возможность работы с узкой полосой пропускания системы, нечувствительность к медленным изменениям частоты передатчика.

Основным недостатком является прямое прохождение («просачивание») сигнала непосредственно из передающей антенны в приемную, вызывающее сужение динамического диапазона приемного тракта и ухудшение условий измерения малых доплеровских сдвигов частоты. Основные методы борьбы с этим недостатком — снижение уровня боковых лепестков приемных и передающей антенн, аппаратурная и программная компенсации данной коррелированной помехи.

Для практической реализации систем акустического зондирования в течение 1980—1981 гг. была сформирована специальная группа, работающая на договорной основе. Первый разработанный ею макет одноканального акустического лоатора непрерывного излучения, предназначенный для дистанционного измерения радиальной скорости ветра в приземном слое атмосферы, был размещен на аэрологической площадке аэропорта г. Харькова.

В реальных условиях аэропорта проводились сравнительные измерения скорости ветра содаром, системой КРАМС, шаропилотными и радиопилотными наблюдениями. Анализ результатов измерений показал удовлетворительное соответствие результатов измерения с шаропилотными и радиопилотными наблюдениями. Коэффициент корреляции результатов составил 0.97. Коэффициент корреляции результатов содара с данными системы КРАМС,

расположенной в 400 м от содара, изменялся от 0,65 до 0,95, причем большие значения отмечались при увеличении интервала усреднения до 15 мин. Были проведены также экспериментальные исследования вертикального профиля скорости ветра на высотах от 25 до 200 м на 8 уровнях. Цикл измерений проводился синхронно с радиопилотными наблюдениями с помощью РЛС «Метеорит-2» и радиозондов РКЗ-5 [10].

При последующей модернизации содар был снабжен тремя стационарными антеннами, расположенными в районе взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэропорта, трехканальной системой приема и обработки информации. Однако при этом варианте исполнения содара исключалась возможность анализа помеховой обстановки в реальном масштабе времени, а также определения параметров эхо-сигналов с последующей адаптацией алгоритма обработки к сложившейся ситуации. Кроме того, не обеспечивалась инвариантность системы обработки относительно целого ряда специальных задач по исследованию метеопараметров [11], т.е. изменение решаемой задачи обуславливало необходимость изменения структуры как программной, так и аппаратной частей.

Первый этап работ показал работоспособность устройства дистанционного измерения скорости ветра в приземном слое атмосферы, которое использует непрерывный зондирующий сигнал. Были выполнены экспериментальные исследования внешних акустических помех, действующих на вход приемника, что в дальнейшем дало возможность провести измерения интенсивности внешних шумов в черте города, на полигоне и на научно-исследовательском судне. Результаты данных исследований могли рассматриваться как техническая основа для построения и совершенствования устройства акустического зондирования атмосферы непрерывными колебаниями.

Разработка содара ИВА — новый этап развития непрерывного акустического зондирования. С начала 80-х гг. особое внимание служб метеообеспечения авиации мира было направлено на решение задачи обнаружения сдвига ветра, приводящего к появлению авиационных происшествий, особенно при выполнении воздушным судном операций взлета и посадки. В 1985 г. Управление авиации СССР привлекло ХТУРЭ для решения этой задачи, учитывая накопленный здесь опыт разработки систем акустического зондирования.

С учетом современных тенденций развития техники акустического зондирования атмосферы был разработан в ХТУРЭ, изготовлен на опытном заводе и испытан опытный образец акустического измерителя параметров ветра ИВА. Технические решения измерителя должны были удовлетворить информационные запросы потребителей как в ближайшее время, так и по мере развития техники акустического зондирования.

Передающий канал ИВА включал синтезатор зондирующего сигнала (СЗС), схему преобразования цифровой комплексной огибающей (КО) в действительный зондирующий сигнал, усилитель мощности и передающую антенну. В схеме преобразования КО предусматривались цифроаналоговые преобразователи, перемножители, с помощью которых выполнялся перенос КО с нулевой частоты на частоту зондирования, ФНЧ и сумматор. Для тестирования приемного тракта СЗС синтезировал специальные сигналы, имитирующие эхо-сигналы локатора. Кроме функций синтеза, СЗС выполнял функции микроЭВМ общего назначения и мог распараллеливать алгоритм обработки центральной микроЭВМ локатора. Каждый из

приемных каналов включал в себя приемную антенну, аналоговый мультиплексор, кодоуправляемый усилитель, полосовой фильтр, схему выделения КО. Аналоговый мультиплексор предназначался для коммутации реальных или типовых сигналов. Схема выделения КО с помощью смесителей и ФНЧ переносила спектр сигнала из высокочастотной области в низкочастотную. Все переносы по частоте в квадратурных каналах осуществлялись с помощью опорного квадратурного генератора, общего с передающим трактом. С выходов приемных каналов КО через управляемый от микроЭВМ аналоговый мультиплексор сигналы подавались на быстродействующий АЦП, с выхода которого оцифрованный сигнал вводился в микроЭВМ. Алгоритмы статистического оценивания различных метеовеличин были реализованы с помощью микроЭВМ и программируемого процессора цифровой обработки сигналов (ЦОС), что позволяло переходить от одного алгоритма к другому в сравнительно широком диапазоне классов без изменения аппаратной части.

Для аэродромного варианта измерителя основной являлась бистатистическая схема зондирования [12]: передающая и приемные антенны были разнесены в пространстве, причем приемные антенны обслуживали группами по три каждую из трех высот зондирования. Для этого варианта также сохранялась возможность реализации непрерывного зондирующего сигнала, что позволяло повысить энергетические показатели лоатора при наличии акустических помех аэропорта.

Основные технические характеристики измерителя ИВА

Диапазон измеряемых скоростей ветра, м/с	1... 30
Высоты измерения, м	40, 70, 100
Несущая частота зондирующего сигнала, Гц	5000
Максимальная мощность, подводимая к передающей антенне, Вт	300
Уровень эквивалентного звукового давления, обусловленного собственными шумами микрофонного усилителя (в полосе 1 кГц), дБ, не более	16
Погребляемая мощность, кВт, не более	2
Допустимый уровень внешних помех, дБ	80

Управление лоатором осуществлялось оператором через системный терминал. Отображение, документирование информации реализовалось с помощью терминала, накопителя на гибких магнитных дисках, печатающего устройства, а вывод информации в систему высшего уровня производился по цифровому каналу связи со скоростью не менее 75 бит/с.

В качестве центральной микроЭВМ в разработке использована персональная ЭВМ типа IBM — PC/AT-386, снабженная специализированным процессором обработки сигналов ПОС-16, который позволяет выполнить основные операции в реальном масштабе времени.

Алгоритм измерения скорости ветра ИВА дает возможность проводить в реальном масштабе времени по каждому из девяти приемных каналов: оценку соотношения сигнал-помеха в принятых реализациях эхосигнала и отбор их для анализа; оценку доплеровского сдвига частоты с использованием алгоритма БПФ; усреднение результатов измерения на заданном интервале времени; определение составляющих вектора скорости ветра на каждой из высот зондирования; расчет вертикального сдвига ветра, модуля и направления горизонтального ветра с учетом ориентирования антенной системы; регистрацию информации на экране монитора в заданном формате; подачу сигналов (звуковых или в виде мигающих отметок на экране монитора), если скорость ветра или его сдвиг превышает заданное значение.

Результаты измерений содаром ИВА в зоне аэродрома. Экспериментальные исследования с использованием опытного образца акустического локатора ИВА выполнялись в аэропорту г. Харькова летом 1989 г. и весной 1990 года. В процессе экспериментов изучались особенности спектральных характеристик акустических помех воздушных судов (ВС) при выполнении ими различных операций: выруливания к стартовой позиции, расположения на ней, старта, посадки, взлета с противоположного от локатора торца ВПП. Кроме того, определялись характер и степень воздействия акустических помех ВС на функционирование локатора, проверялась идентичность каналов измерения составляющих скорости ветра на различных высотах.

Для проведения испытаний антенны локатора были расположены по Т-образной схеме на расстоянии от 120 до 200 м от торца ВПП. Уровень фоновых акустических помех и помех ВС измерялся в полосе 0,3...15 кГц с помощью шумомера ВШВ-003. Спектральный состав помех исследовался спектроанализатором СК4-72/2.

Эксперименты показали, что уровень фоновых помех аэропорта составляет 55...65 дБ, а их спектральная плотность (СП) имеет экспоненциальную форму, подтверждая выводы работы [13].

Уровень акустических помех ВС определяется типом ВС, выполняемой операцией, ракурсом ВС относительно антенной системы локатора. Характерные уровни зафиксированных помех ВС приведены в таблице.

Тип ВС	Уровень помех, дБ			
	Посадка	Выруливание	Старт	Взлет
Ту-134	80...87	82...86	102...115	96...106
Як-40	72...76	До 75	74...86	До 89
Ан-24	75...84	76...80	80...86	80...88
Л-410	88...72	70	75	—

Форма СП помех ВС также приближается к экспоненциальной, но спад высокочастотных составляющих происходит медленнее, чем для фоновых помех. Кроме того, СП помех ВС содержит пики, положение которых на частотной оси, а также их относительный уровень различны для разных типов ВС и зависят от индивидуальных особенностей режима работы двигателя ВС при выполнении конкретных операций. Например, СП помех в режиме выруливания Ту-134 является наиболее широкополосной (до 8 кГц) и изрезанной, максимумы наблюдались на частотах около 2 и 4 кГц. Кроме того, в момент разворота на стартовой площадке отмечалось наличие пика, быстро перемещающегося от частоты около 7 кГц в область 3 кГц. СП помех при выруливании Як-40 имела отдельные пики на частотах 1,4; 2,8; 4 кГц, причем на частотах выше 4 кГц уровень спектральных составляющих был соизмерим с уровнем фона. При выруливании Ан-24 и Л-410 основная энергия помех была сосредоточена в полосе до 2 кГц, причем на более высоких частотах уровень СП незначительно превышал уровень фона.

В момент старта Ту-134 СП помех находилась в НЧ-области (в полосе до 2 кГц), хотя и отмечались кратковременные расширения полосы до 4 кГц. При старте Як-40 СП помех в основном была сосредоточена в области до 3 кГц, для Ан-24 и Л-410 — до 2,5 кГц с пиками на 2 кГц (Ан-24) и 300...400 Гц (Л-410).

При посадке ВС СП помех находились соответственно в области от 4,5 кГц (Ту-134) с пиком на 2 кГц до 12 кГц (Як-40) со спектральными пиками на частотах 1, 2, 8 кГц. Для Л-410 основная энергия СП помех была сосредоточена в полосе до 5 кГц, причем ее пик отмечался на частоте 2 кГц.

В процессе экспериментов была установлена значительная зависимость влияния акустических помех ВС на работу локатора от ориентирования реактивных струй относительно антенной площадки локатора: наибольший уровень помех отмечался при развороте ВС на стартовой позиции, когда выбрасываемая струя была направлена на антенную площадку. Поскольку наибольший уровень помех ВС в рабочем частотном диапазоне локатора обусловлен маневрами ВС в районе старта, наиболее целесообразным местом установки локатора ИВА является район ближнего приводного радиомаяка аэропорта. Необходимо отметить, что в указанном районе глиссада снижения ВС при посадке может проходить через рассеивающий объем локатора (на высоте 70 м), вследствие чего значимость данных измерений из этого объема для экипажа ВС возрастает.

Международная апробация содара ИВА. В мае — июне 1989 г. и в октябре 1990 г. на территории Словацкой метеорологической обсерватории, обслуживающей атомную электростанцию, проводились международные исследования параметров приземного слоя атмосферы по про-

граммам "JABEX-89" и "JABEX-90" с использованием локальных средств, размещаемых на 200-метровой метеорологической вышке и дистанционных содаров различных типов, в том числе акустического локатора ИВА [14].

Для совместных измерений скорости и направления ветра наряду с содаром ИВА применялись следующие приборы: российские датчики М-47, установленные на метеовышке (на высоте 60 и 85 м); словацкая аппаратура шаропилотных наблюдений; акустические анемометры DAT-310 производства японской фирмы "Кайо-Денкай", установленные на 25-метровой отметке вышки; шведский содар "Сенситрон"; немецкий содар "Эхо-2".

Передающая антенна содара ИВА располагалась на расстоянии 90 м от основания вышки, точка запуска шар-пилотов и первый пункт наблюдения — на расстоянии 15 м, а второй пункт наблюдения был расположен в 20 м от передающей антенны содара. Расстояние между местами установки содаров "Сенситрон" и ИВА составило 87 м, между содарами ИВА и "Эхо-2" — 300 м.

Площадка обсерватории размещена среди сельскохозяйственных угодий на равнине, окруженной цепью гор. Отличительной особенностью условий эксперимента явилось относительное постоянство средних параметров воздушных масс в течение длительных (несколько часов) серий экспериментов.

В процессе обработки результатов совместных измерений рассчитывались такие параметры: средние значения взаимных отклонений скорости и направления ветра ΔV , $\Delta \phi$, измеряемых различными средствами; среднеквадратические значения взаимных отклонений $S_{\Delta V_x}$, $S_{\Delta \phi}$; коэффициенты корреляции совместно измеренных величин ρ_v ; коэффициенты уравнения регрессии b_0 и b_1 .

При обработке данных совместных измерений с датчиками М-47 (установленный интервал усреднения $T_y = 10$ мин) получены следующие значения: $0,93 \leq \rho_v \leq 0,96$; $|\Delta V| \leq 0,65$ м/с; $\sigma_{\Delta V} \leq 0,43$ м/с; $-0,03 \leq b_0 \leq 0,56$; $0,85 \leq b_1 \leq 1,04$.

При $T_y = 1$ ч получены соответственно: $0,97 \leq \rho_v$; $|\Delta V| \leq 0,68$ м/с; $\sigma_{\Delta V} \leq 0,43$ м/с; $-0,68 \leq b_0 \leq 0,91$; $0,92 \leq b_1 \leq 1,04$.

Количественных сравнительных оценок при измерениях направления ветра не проводилось, поскольку было обнаружено наличие значительных выбросов в показаниях датчиков направления М-47, обусловленных, по-видимому, кратковременным "зависанием" датчиков при порывах ветра.

В процессе совместных измерений скорости ветра содаром ИВА и шаропилотными наблюдателями были получены следующие результаты: $0,7 \leq \rho_v \leq 0,86$; $|\Delta V| \leq 0,42$ м/с; $S_{\Delta V_x} \leq 1$ м/с; $|\Delta \phi| \leq 2,8^\circ$; $S_{\Delta \phi} \leq 6,9$.

При измерении скорости ветра совместно с акустическим анемометром DAT-310 ($T_y = 40$ мин) значения показателей составили: $\rho_v = 0,97$; $|\Delta V| \leq 0,31$ м/с; $b_0 = -0,52$; $b_1 = 1,67$; $S_{\Delta V} \leq 0,31$ м/с.

В результате совместных измерений с содаром "Сенситрон" ($T_y = 15$ мин) получены такие данные: $0,76 \leq \rho_v \leq 0,91$; $|\Delta V| \leq 0,46$ м/с; $S_{\Delta V} \leq 0,75$ м/с; $|\Delta \varphi| = 3,4^\circ$; $\sigma_{\Delta \varphi} \leq 5,5^\circ$. В процессе испытаний отмечалось существенное снижение дальности зондирования содаром "Сенситрон" при скорости ветра более 10 м/с.

При испытаниях на помехоустойчивость использовался источник акустических помех, имитирующий реальную помеховую обстановку аэропорта. В процессе этих испытаний зафиксировано прекращение выдачи информации содаром "Сенситрон" при уровне помех 34...38 дБ в октавной полосе частот 2 кГц (71...72 дБ в полосе от 0 до 15 кГц). Содар ИВА сохранял работоспособность при максимальной интенсивности помех имитатора 58 дБ в октавной полосе 4 кГц (80...88 дБ в полосе 0...15 кГц) с незначительным снижением статистической обеспеченности оценок.

Таким образом, за четверть века исследований в области акустического зондирования на кафедре радиотехнических систем ХТУРЭ пройден путь от теоретической и экспериментальной стадий до начала внедрения комплексов зондирования в практику метеослужб обслуживания авиации. Опытный образец разработанного акустического локатора ИВА-4 в 1989 г. прошел ведомственные испытания, а в 1990 г. был передан на опытную эксплуатацию в Главную геофизическую обсерваторию им. Воейкова (Россия) [15]. С начала 1991 г. осуществлялась подготовка к выпуску установочной серии локаторов для проведения госиспытаний в 1992—1993 годах.

Имеющиеся наработки по акустическому зондированию позволили создать ряд спецкурсов для обучения студентов. На основе развития средств вычислительной техники и элементной базы производится дальнейшее развитие метода акустического зондирования, совершенствование алгоритмов и устройств обработки сигналов [16].

Список литературы: 1. Обухов А.М. О рассеянии звука в турбулентном потоке // Докл. АН СССР. 1941. Т. 30. С. 611. 2. Татарский В.И. К теории распространения звуковых волн в турбулентном потоке // ЖЭТФ. 1953. Т. 25. С. 74. 3. Монин А.С. Некоторые особенности рассеяния звука в турбулентной атмосфере // Акуст. журн. 1961. Т. VII, вып. 4. С. 457 — 461. 4. Каллистратова М.А. Экспериментальное исследование рассеяния звуковых волн в атмосфере // Тр. Ин-та физики атмосферы (ИФА) АН СССР. 1962. № 4. С. 203 — 256. 5. Акустическое зондирование — новый метод исследования строения атмосферы / Л.Г. Макаллистер, Д.Р. Поллард, А.Р. Махони, Р.Д. Шоу // ТИИЭР. 1969. Т. 57, № 4. С. 231 — 239. 6. К расщету частотно-энергетических соотношений в акустической локации атмосферы / А.Ф. Апорович, Г.И. Сидоров, В.И. Сидько, В.И. Леонидов // Радиотехника. 1978. Вып. 44. С. 44 — 48. 7. Сидоров Г.И., Сидько В.И. Выбор оптимальных частот акустического зондирования нижнего слоя атмосферы // IV Всесоюз. симп. по лазер. зондированию атмосферы: Тез. докл. Томск, 1976. С. 62 — 64. 8. Сидоров Г.И., Сидько В.И. Теоретическое и экспериментальное исследование характеристик акустических помех // V Всесоюз. симп. по лазер. и акуст. зондированию атмосферы: Тез. докл. Томск, 1978. С. 34 — 37. 9. Прошкин Е.Г., Сидоров Г.И., Сидько В.И. Акустический локатор с непрерывным зондирующим сигналом // VI Всесоюз. симп. по лазер. и акуст. зондированию атмосферы: Тез. докл. Томск, 1980. С. 109 — 112. 10. Алексин В.И., Рыженко А.И., Сидько В.И. Некоторые результаты измерения скорости ветра

в зоне аэродрома акустическим докатором с непрерывным излучением // Радиотехника летат ашаратов. 1984. Вып. 13. С. 51 — 57. 11. *Каллистратова М.А., Шаманаева Л.Г.* Акустическое зондирование атмосферы пограничного слоя // VIII Всесоюз. симп. по лазер. и акуст. зондированию атмосферы: Тез. докл. Томск, 1984. С. 59 — 60. 12. *Измеритель ветра акустический ИВА-4* В.И. Алехин, Ю.Г. Плещеев, Б.М. Романовский и др. // Протокол рабочего совещания специалистов стран — членов СЭВ по вопросам КАС-МЕТЕО. Прил. 3. Л., 1988. С. 50 — 52. 13. *Справочник по технической акустике*: Пер. с англ. Под ред. Д. Хекла, М. Мюллера. Л.: Судостроение, 1980. 653 с. 14. *О некоторых результатах измерений характеристик ветра в рамках программы "JABEX-89"* / В.И. Алехин, А.Г. Жгунов, Ю.А. Малоков и др. // Оптика атмосферы. Томск, 1982. Т. 5. С. 109 — 110. 15. *Принципы построения автоматизированных систем метеорологического обеспечения авиации* / Под ред. Г.Г. Шукина. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 435 с. 16. *Алехин В.И., Доровский В.В., Рыженко А.И.* К вопросу о метеорологической аттестации тракта формирования информационных сигналов акустического докатора // III Междунар. конф. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". Харьков — Туансе, 1997 г.: Тез. докл. X, 1997. С. 59.

Днепропетровский государственный технический университет радиотехники

Поступила в редакцию 01.09.98



Владимир Иванович Алехин,
проф., директор Института
радиотехники и электроники,
зав. кафедрой
радиотехнических систем,
зам. главного редактора
всеукраинского научно-
технического сборника
«Радиотехника»