

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин А. В., Мустафин К. С. Голографические методы контроля асферических поверхностей // ОМП.— 1979.— № 4.
2. Feder D. P. Optical calculations with automatic computing machinery // JOSA.— 1951.— V. 41, N 9.— P. 630—635.
3. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем.— Л.: Машиностроение, 1969.
4. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления.— М.: Физматгиз, 1962.
5. Фаддеев Д. К., Фаддеева В. Н. Вычислительные методы линейной алгебры.— М.: Л.: Физматгиз, 1963.
6. Воеводин В. В. Вычислительные основы линейной алгебры.— М.: Наука, 1977.
7. ОСТЗ-4731-80. Алгоритм расчета синтезированной голограммы.— Введ. 1.1.81.
8. Caulfield H. J., Mueller P., Drove P., Epstein A. Computer holograms for optical testing // Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.— 1982.— N 306.

Поступила в редакцию 16 мая 1986 г.

УДК 551 : 508 : 681.3:27.6 : 519.668

А. И. ИСАКОВА, Е. А. МОНАСТЫРНЫЙ, Г. Я. ПАТРУШЕВ, А. И. ПЕТРОВ,
Т. П. ПЕЧЕРКИНА, А. П. РОСТОВ, В. Д. ТЕУЩЕКОВ

(Томск)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ, РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ОПТИКО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Атмосферная оптика когерентного излучения рассматривает широкий круг задач, связанных с влиянием состояния среды распространения на параметры световой волны. В настоящее время имеется весьма развитый аппарат теоретического исследования линейных задач распространения волн в случайно-неоднородной среде, каковой является атмосфера [1]. Однако результаты по расчету характеристик излучения, представляющих наибольший практический интерес, носят, как правило, приближенный характер. Экспериментальные исследования позволяют не только уточнить границы применимости приближенных решений, но и получить новые результаты, стимулирующие развитие теории.

Оптические эксперименты, проводимые в реальной атмосфере, существенно различаются по способам регистрации тех или иных характеристик оптического излучения. С другой стороны, электронные тракты, методы статистического анализа, объем сопутствующей метеорологической информации, как правило, достаточно близки при проведении физически разных атмосферно-оптических исследований. Создание комплексов аппаратуры, максимально удовлетворяющих общим требованиям и оперативно перестраиваемых для конкретного эксперимента, позволяет проводить ряд экспериментальных исследований с минимальными затратами.

В данной работе описывается аппаратно-программный комплекс для исследования распространения оптического излучения в приземном слое атмосферы. Технические характеристики разработанных аппаратных средств и требования к пакету программ статистического анализа определялись поставленными физическими задачами, а именно: исследование пространственно-временных характеристик флуктуаций интенсивности оптического пучка, включая оценки высших моментов и законов распределения плотности вероятности, на связанных и локационных трассах; отработка различных методов зондирования параметров турбулентной атмосферы таких, как средняя и флуктуационная компоненты скорости ветра, структурная характеристика поля показателя преломления S_n , внутренний масштаб турбулентности l_0 . При создании аппаратуры учитывались требования к динамическому [2] и спектральному [3] диа-

пазомам, синхронности многоканальных измерений, статистической устойчивости экспериментальных оценок [2].

Методика проведения сложного атмосферно-оптического эксперимента с помощью разработанного аппаратурно-программного комплекса состоит из двух этапов.

На первом этапе по той или иной оптической схеме проводятся измерения, которые сопровождаются предварительной обработкой метеорологической и оптической информации. Основная информация (как правило, оптические сигналы) регистрируется на специальном накопителе с высокими техническими характеристиками, реализующимися в полевых условиях. На втором этапе записанные данные детально анализируются на стационарной ЭВМ. Это достигается с помощью специализированного пакета прикладных программ статистического анализа, который позволяет обойтись без целого набора измерителей характеристик случайных процессов и облегчает процесс измерений, поскольку освобождает экспериментатора от контроля за их работой в условиях ограниченной временной стационарности атмосферной турбулентности. Оперативное определение основных параметров атмосферно-оптической ситуации на первом этапе позволяет избежать явных промахов и ненужного дублирования при проведении эксперимента.

На рис. 1 приведена функциональная блок-схема комплекса аппаратуры и программ автоматизированной системы оптико-метеорологических измерений. Комплекс включает оптико-электронную часть, аппаратуру цифровой регистрации (АЦР), метеорологическую аппаратуру, аппаратуру оперативной обработки информации, программную часть.

Оптико-электронная часть состоит из формирующей волновые пучки оптики, передвижных отражателей, фотоприемников ФЭУ-79 и выходных усилителей. На выходной апертуре формирующей оптики диаметром до 500 мм получают волновые пучки с требуемыми параметрами. Сигналы, отраженные от исследуемых объектов, принимаются фотоприемниками, усиливаются и поступают на аппаратуру оперативной обработки информации и АЦР. Использование в эксперименте передвижных отражателей существенно облегчает организацию оптических трасс различной длины и обслуживание приемопередающей аппаратуры, так как и излучатели, и приемники находятся в одном павильоне. Распространение излучения по прямой трассе имитируется с помощью двух поворотных зеркал, размещенных на 2 м так, что световая волна проходит по П-образному пути. Такая геометрия оптической трассы исключает эффекты, связанные с двукратным прохождением излучения по одному и тем же оптическим неоднородностям.

Для записи и хранения основных экспериментальных данных используется специально разработанная АЦР с высокими техническими характеристиками. В ней применены способ записи 4/5 БВНМ (без возвращения к нулю, модифицированный) и самокорректирующий код Хемминга [4]. Благодаря этому при воспроизведении исправлялись одиночные ошибки регистрируемой информации, а коэффициент выпадения по порядку величины достигал значения 10^{-7} . АЦР имеет следующие основные технические данные: количество аналоговых входов 8; макси-

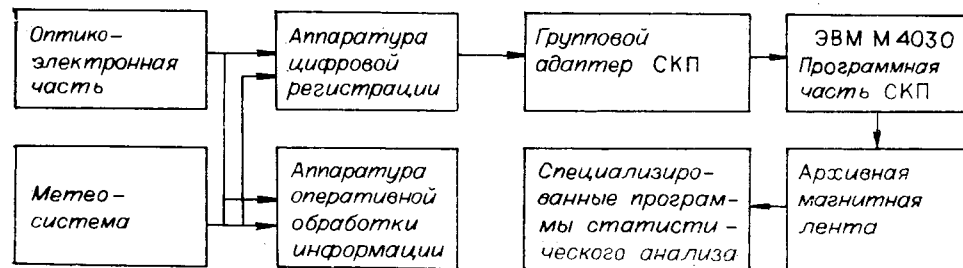


Рис. 1

мальная амплитуда входных сигналов 3 В; динамический диапазон 72 дБ (12 разрядов двоичного кода); максимальная частота дискретизации по 1 каналу 20 кГц; коэффициент выпадения (в зависимости от магнитной ленты) $(1-3)10^{-7}$; плотность записи 200 бит/мм; максимальный объем регистрируемой информации на одну катушку магнитной ленты длиной 1 км 157,8 Мслов; апертурное время 100 нс.

Аппаратура работоспособна в полевых условиях при температуре $15 \pm 10^\circ\text{C}$ и влажности до 90%. АЦР работает в следующих трех основных режимах: регистрация аналоговой информации; ввод информации в ЭВМ; выдача аналоговой информации для ее визуальной проверки на осциллографе или анализа на аппаратуре оперативной обработки информации.

В АЦР предусмотрен контроль качества записи и передачи информации в ЭВМ. В ней также имеются два звуковых канала (частотный диапазон 300—3000 Гц) для речевого сопровождения эксперимента и упрощения маркировки и разбраковки магнитных лент. Амплитудно-частотная характеристика АЦР ограничена применяемыми аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). При использовании более скоростных АЦП максимальная частота дискретизации может быть доведена до 120 кГц, т. е. увеличена в 6 раз по сравнению с действующим вариантом.

Метеорологическое оборудование в соответствии с задачей по исследованию турбулентных характеристик лазерного излучения, распространяющегося в приземном слое атмосферы, обеспечивает регистрацию следующих метеопараметров: а) скорости ветра, ее продольной и поперечной компонент (по отношению к направлению оптической трассы), вертикального градиента и направления ветра; б) температуры воздуха и ее вертикального градиента; в) мощности флуктуаций температурного поля; г) атмосферного давления; д) относительной влажности воздуха.

Выбор этих параметров обусловлен тем, что они в той или иной степени связаны с измеряемыми оптическими характеристиками непосредственно или через структурную характеристику S_n^2 показателя преломления воздуха [1, 3]. Для определения метеопараметров использовались как серийные, так и специально разработанные дистанционные автоматизированные измерители с выносными датчиками, смонтированными на метеомачтах.

Измерение средних метеопараметров осуществлялось путем их усреднения по времени за 300—600 с. Средняя текущая скорость ветра и синус угла между направлением ветра и направлением трассы определялись в приземном слое от 1 до 7 м. Средняя скорость ветра находилась в диапазоне 0,5—15 м/с с погрешностью, не превышающей 0,1 м/с. Температура и ее градиент измерялись в диапазоне $\pm 50^\circ\text{C}$ с погрешностью не более 0,05. Измерения продольной и поперечной компонент скорости ветра по отношению к направлению измерительной трассы проводились с помощью акустического анемометра. Он собран по балансной схеме двухканального акустического анемометра фазового типа и состоит из выносного датчика, установленного на специальной стойке на пучной высоте в пределах метеоплощадки, и фазометра, соединенных кабелем длиной 100 м.

Аппаратура оперативной обработки и отображения информации служит для оперативного определения и документирования оптико-метеорологической ситуации на трассе распространения и содержит: четырехканальный аналоговый дисперсиометр со скользящим усреднением; цифровой анализатор моментных функций случайных процессов; многоканальный специализированный скоростной цифровой графообразователь совместно с аналого-цифровым коммутатором.

Четырехканальный аналоговый дисперсиометр непрерывно вычисляет данные о первых двух моментах и имеет динамический диапазон около 50 дБ. Операция усреднения по времени осуществляется либо фильтром нижних частот с постоянной времени 20, 50, 100, 200 с, либо ин-

тегратором с теми же временами интегрирования. Программируемый цифровой анализатор моментов состоит из микроЭВМ «Электроника 60», оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) «Электроника 64К-01», блоков микропрограммного управления и отображения гистограммы на дисплей.

Для регистрации и отображения информации с метеорологического оборудования, аппаратуры оперативной обработки данных используется скоростной цифровой графообразователь 17СО9М1 с аналого-цифровым коммутатором. Последний производит оцифровку соответствующих аналоговых сигналов, преобразование в код графообразователя, ведет последовательный опрос аналоговых и цифровых каналов с частотой 4 кГц. Графообразователь обеспечивает линейные скорости перемещения в широком диапазоне: 1,5; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160 мм/с, что позволяет регистрировать изменение сигналов с частотой до 20 Гц. Максимальное число одновременно регистрируемых аналоговых сигналов 10, цифровых — 7.

Второй этап проведения описываемого атмосферно-оптического эксперимента заключается в детальном анализе полученных экспериментальных данных на стационарной ЭВМ. Для этой цели используется ЭВМ М 4030 [5] со штатной операционной системой ДЭС АСВТ [6], системное программное обеспечение, представляющее собой специализированный пакет программ «Система коллективного пользования (СКП) на базе ЭВМ М 4030 и произвольных терминалов», и пакет программ статистического анализатора случайных процессов.

Пакет программ СКП обеспечивает быстрое создание системных программных средств СКП, осуществляющей ввод, накопление и обработку экспериментальных данных, дистанционный запуск и отладку проблемных программ, решение задач в диалоговом режиме. В основу организации пакета положены принципы модульности и генерации. Это обеспечивает адаптируемость СКП к различному ее составу, конфигурации и режиму работы и позволяет использовать в качестве терминалов ЭВМ М 4030 разнотипные устройства: дисплеи ВТ 340, РИИ 600, ВТ 1, ЕС 7920, аппаратуру КАМАК. Подробно пакет программ описан в [7, 8]. Главной особенностью пакета программ является возможность обслуживания на линии с ЭВМ М 4030 любых нестандартных терминалов, каким-либо образом подключенных к каналу ЭВМ с учетом его интерфейса. Одним из таких терминалов СКП, функционирующей в Институте оптики атмосферы СО АН СССР, является магнитный накопитель (МН) АЦР (рис. 2) [9].

Экспериментальные данные в условиях полигонов записываются на нестандартную (по отношению к ЭВМ М 4030) магнитную ленту (МЛ). Затем эта МЛ привозится на вычислительный центр и устанавливается на МН АЦР, подключенный через групповой адаптер [10] к каналу ЭВМ М 4030. Работа по вводу и обработке информации с МН АЦР осуществляется следующим образом. На ЭВМ М 4030 в отдельный программный раздел с наивысшим приоритетом загружается так называемая управляющая программа (УП), сгенерированная из макрокоманд и системных подпрограмм пакета СКП. При поступлении инициативного прерывания от МН АЦР (терминала СКП) УП инициирует выполнение

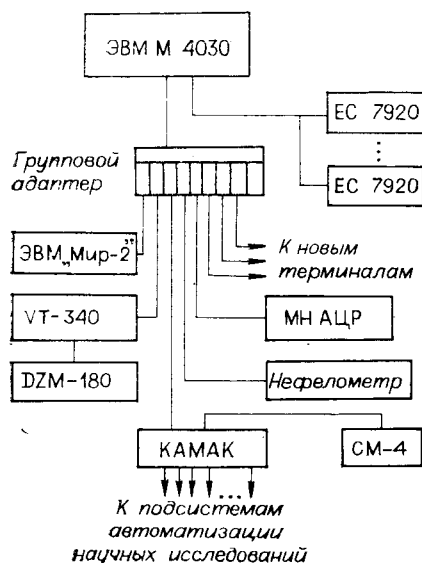


Рис. 2

с ним операции «Чтение». Данные вводятся в ОЗУ и запоминаются на магнитном диске. По окончании операции ввода в системе формируется задание, которое ставится в очередь на выполнение в отдельном программном разделе. Это задание предусматривает выполнение на ЭВМ программы, которая осуществляет ввод информации об эксперименте и условиях его проведения, синтаксическую проверку полученных байтов информации, преобразование байтов в числа, имеющие целый или десятичный формат, подсчет числа отбракованных чисел и числа «лавинообразных» чисел, формирует в ОЗУ блоки данных и записывает их на архивной МЛ экспериментатора. По окончании формирования архивной МЛ на АЦПУ ЭВМ М 4030 выводится паспорт эксперимента, содержащий информацию о проделанной работе (рис. 3). После завершения выполнения задания на ЭВМ описанная выше последовательность действий может быть повторена при поступлении с МН АЦР нового принципиального прерывания для ввода и обработки на ЭВМ М 4030 экспериментальной информации со следующей МЛ.

Рассортированные по каналам и преобразованные в машинный вид экспериментальные данные, записанные на архивную магнитную ленту, обрабатываются затем программами, которые проводят практически полный статистический анализ одно- и двумерных случайных процессов. Все программы можно объединить в три комплекса: для анализа одного процесса, взаимного анализа двух стационарных процессов, анализа узкополосных случайных процессов. Все программы реализованы на языке Фортран-IV для ЭВМ М 4030, но могут использоваться и на других ЭВМ.

Комплексе программ анализа одного процесса [11] позволяет считывать с МЛ экспериментальные данные, определять моменты случайных процессов до пятого порядка включительно, вычислять гистограммы и функции распределения случайного процесса в удобном для анализа виде, рассчитывать логарифмически нормальное, универсальное, Вейбулла и K -распределения [12], которые используются в теории распространения излучения в случайно-неоднородных средах. Спектральный анализ проводится методом периодограмм входных данных на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) [13]. Сглаживание периодограмм осуществляется по отрезкам реализации процесса и по соседним частотам [14]. Автокорреляционная функция рассчитывается на основе обратного БПФ.

Комплексе программ взаимного анализа позволяет оценивать пространственно-временные характеристики флуктуаций излучения. Он предназначен для расчета взаимных спектров, взаимно корреляционных функций, фазового спектра и спектра когерентности [13, 14] и по структуре аналогичен [11].

Комплексе программ статистического анализа узкополосных случайных процессов дает возможность проводить центрирование процессов, выделять их огибающие и фазы с помощью преобразования Гильберта, находить приведенную к интервалу периодичности разность фаз между

Паспорт эксперимента

Дата эксперимента: 28 июля 83 реализация 15.39
 л127
 Дата записи: 04.11.1983 г.
 Номер первого блока: 000001
 Номер последнего блока: 001173
 Число блоков: 001173
 Частота дискретизации: 006666
 Количество бракованных точек: 000029
 Количество «лавины»: 000000
 Первый канал: интенсивность от уголка
 Второй канал: световой поток от уголка
 Третий канал: п-образная трасса сферической волны

Рис. 3

процессами, вычислять моменты и законы распределения указанных величин [15].

Разработанная система регистрации и обработки оптико-метеорологической информации позволила получить ряд новых физических результатов. Исследована эволюция законов распределения плотности вероятности флуктуаций интенсивности излучения, прошедшего через турбулентную атмосферу [16]. Это стало возможным благодаря использованию в эксперименте аппаратуры с динамическим диапазоном, гораздо большим, чем в ранее проводившихся исследованиях [2]. Проведены синхронные измерения на прямых и локационных трассах и показаны отличия в статистических характеристиках локационных сигналов, связанные с двукратным прохождением по одним и тем же оптическим неоднородностям среды [16, 17]. Использование передвижных отражателей и возможность синхронной многоканальной регистрации информации позволили провести измерения на двух взаимно перпендикулярных трассах при существенно отличных отношениях флуктуационной и средней составляющих скорости ветра. Изучено влияние флуктуаций скорости ветра на эволюцию временных спектров и автокорреляционных функций флуктуаций интенсивности световой волны [18]. Проведены синхронные измерения при распространении излучения во время выпадения осадков на трассах длиной 0,1; 2,5 и 5 км. Обнаружен эффект насыщения флуктуаций интенсивности света при увеличении оптической толщи среды; показано, что на длинных трассах вклад турбулентности во флуктуации интенсивности становится определяющим [19].

Внедрение автоматизированной системы привело к существенной экономии календарного времени, затрачиваемого на получение и анализ экспериментальных данных, позволило существенно поднять уровень проводимых исследований. Трехлетний опыт использования описанной системы показал ее надежность, высокие технические и эксплуатационные характеристики, возможность применения ее для проведения широкого круга научных исследований по распространению оптического излучения в приземном слое атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В. Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере.— М.: Радио и связь, 1981.
2. Натрушев Г. Я., Печеркина Т. П., Ростов А. П. О реальной точности экспериментального определения высших моментов временных рядов // Автометрия.— 1985.— № 3.
3. Гурвич А. С., Кон А. И., Миронов В. Л., Хмелевцов С. С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере.— М.: Наука, 1976.
4. Рыжков В. А. и др. Внешние запоминающие устройства на магнитной ленте.— М.: Энергия, 1978.
5. Белоусов К. Н., Плахотный Н. В., Мохончук В. С. и др. Электронно-вычислительная машина М 4030: Пособие пользователю/Под ред. К. Г. Самофалова, А. Г. Назарчука.— Киев: Техника, 1980.
6. Дисковая операционная система ДОС АСВТ.— М.: ИНЭУМ, 1974.
7. Теуцек В. Д., Яковлев Н. Е. Программное обеспечение центрального вычислительного комплекса системы автоматизации научных исследований коллективного пользования на базе ЭВМ М 4030 // Автоматика и вычисл. техника.— 1982.— № 5.
8. Теуцек В. Д. Программные средства системы коллективного пользования на базе ЭВМ М 4030 и произвольных терминалов для реализации проблемно-ориентированных диалоговых комплексов.— М., 1984.— Рукопись деп. в ВИНТИ, № 1 ГР2402.
9. Вакуров Г. Ф., Теуцек В. Д., Шишлов В. И., Яковлев Н. Е. Система коллективного пользования на базе ЭВМ М 4030 и произвольных терминалов.— Томск, 1981. (Препринт/АН СССР, Сиб. отд-ние, ИОА; 32).
10. Вакуров Г. Ф., Шишлов В. И. Групповой адаптер вычислительной сети Института оптики атмосферы // Технические средства вычислительной сети Института оптики атмосферы.— Томск: ИОА ТФ СО АН СССР, 1979.
11. Натрушев Г. Я., Печеркина Т. П. Программа спектрального анализа стационарного случайного процесса // Алгоритмы и программы.— 1987.— № 6.
12. Phillips R. L., Andrews L. E. Universal statistical model for irradiance fluctuations in a turbulent medium // JOSA.— 1982.— V. 72, N 7.
13. Введение в цифровую фильтрацию/Под ред. Р. Богнера, А. Константиноидиса.— М.: Мир, 1976.

14. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов.— М.: Мир, 1974.
15. Патрушев Г. Я., Печеркина Т. П. Программа статистического анализа узкополосных случайных процессов // Алгоритмы и программы.— 1982.— № 3.
16. Патрушев Г. Я., Петров А. И., Покасов В. В. Флуктуации интенсивности при зеркальном отражении оптических пучков в турбулентной атмосфере // Изв. вузов. Радиофизика.— 1983.— № 7.
17. Монастырный Е. А., Патрушев Г. Я., Петров А. И., Покасов В. В. Временные спектры флуктуаций интенсивности на трассе с отражением // Изв. вузов. Радиофизика.— 1984.— № 7.
18. Монастырный Е. А., Патрушев Г. Я., Покасов В. В. Экспериментальные исследования влияния флуктуирующего ветра на временные характеристики световой волны // Радиотехника и электроника.— 1986.— № 1.
19. Патрушев Г. Я., Петров А. И. О статистических характеристиках флуктуаций интенсивности оптических пучков в турбулентной атмосфере при дожде // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.— 1986.— Т. 22, № 10.

Поступила в редакцию 27 января 1986 г.

УДК 621.391.8: 519.2

В. П. ГОРБУНОВ, Ф. М. ЗАВЬЯЛКИН, В. И. СОЛОДУШКИН, В. А. УДОД

(Томск)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ РАДИАЦИОННОГО ПОЛЯ

При проектировании радиометрических сканирующих систем возникает необходимость выбора оптимальных в определенном смысле значений их основных параметров и характеристик. Между тем многообразие задач, решаемых при помощи различных измерительных систем, обуславливает существование различных критериев оптимальности их функционирования. Выбор того или иного критерия определяется содержанием исследуемой задачи. При этом важную роль играет априорная информация об объекте исследования. При ее отсутствии или недостаточности для проектирования системы целесообразно использовать критерий, обладающий определенной степенью общности.

В фото-, кино- и телевизионных системах, а также в ряде разработанных в настоящее время систем вычислительной томографии и интроскопии за оценку качества функционирования систем принимают пространственное разрешение и контрастную чувствительность [1—9]. Пространственное разрешение характеризует способность отдельного воспроизведения системой различных структурных элементов в объекте исследования при 100%-ном контрасте и количественно выражается, как правило, через функцию передачи модуляции системы [1, 4, 5, 7—9]. Контрастная чувствительность определяется как минимальное отклонение в распределении значений исследуемого параметра, которое при наличии шума может быть выявлено с заданной вероятностью и количественно выражается через отношение сигнал/шум (ОСШ). В системах вычислительной томографии получила распространение оценка качества, известная под названием «контрастно-детальная чувствительность» [5, 6]. Данная характеристика представляет собой зависимость минимального контраста детали, выявляемой на томограмме, от размеров этой детали в контролируемом сечении.

Однако, как следует из экспериментальных результатов [5, 6], вышеуказанные характеристики не отражают способности отдельного воспроизведения системой малоконтрастных деталей радиационного поля объекта исследования при наличии шума, что в ряде случаев имеет важное значение.

Целью настоящей работы является получение характеристики, отражающей указанную способность систем и позволяющей корректно по-