

замешивать в цветовые сигналы непосредственно телекамеры. В Internet этот процесс можно осуществить практически в любом месте канала, включая любой компьютер сети.

Выводы

Разработана сравнительно простая методика экспериментального определения порогов цветоразличения. Согласно этой разработанной методике разработан программный комплекс по количественному определению порогов цветоразличения в условиях телевизионного наблюдения. Путем изменения разработанного программного комплекса можно определять и яркостные пороги, а в комплексе получить пороги цветоцветоразличения в трехмерном пространстве.

На основе проведения серии измерений порогов цветоразличения можно определить «запас свободного» информационного пространства, позво-

ляющего осуществить сжатие цветового канала и передавать дополнительную информацию.

Литература

1. MacAdam D.L. Visual Sensitivities to Color Differences in Daylight // J. Optical of society America. V.32. №5, May, 1942. – P. 247-274.
2. Ложкин Л.Д. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № ОФАП 12111. ВНИИЦ № 50200900117, заявл. 11.01.2009. http://ofap.ru/rto_files/12111.doc от 16.01. 2009.
3. Ложкин Л.Д. Цветовые искажения в ТВ // ИКТ. Т.6, № 3, 2008. – С. 81-86.
4. Ложкин Л.Д. Новая равноконтрастная цветовая система // Вестник СОНИИР. №4, 2008. – С. 69-74.
5. Новаковский С.В. Цветное телевидение. Основы теории цветовоспроизведения. М.: Связь, 1975. – 376 с.

THE EXPERIENCES MAC ADAM IN CONDITION ADDING COLOR AND POSSIBILITY THREADS OF THE CHANNEL RELATIONSHIP

Lozhkin L.D.

The Article is dedicated to questions of the measurement threshold color differences in condition of the television observation. In article is given description of the methods and programmer complex, allowing automate the process of the measurement threshold color differences and processing result measurements. The preliminary results of the measurements threshold happen to in article color differences. In connection with particularity of the color perception by eye of the person appears the possibility of the compaction of the spectrum signal sensor of the color television by additional information not worsening quality to color reproduction.

Keywords: *ellipses poppy Adam, color system, coordinate system, primary colors.*

Ложкин Леонид Дидимович, к.т.н., заведующий лабораториями Кафедры «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 339-11-74. E-mail: astro76@rambler.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК. 621.391

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СООТВЕТСТВИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛИНИЙ ВЫТЕКАЮЩЕЙ ВОЛНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ СИГНАЛАМ

Духан Е.И.

В статье статистическими методами обосновывается адекватность математической модели, применяемой для теоретического исследования процессов сигналообразования в средствах обнаружения на основе линий вытекающей волны. Для повышения надежности принятия решения предлагается ориги-

нальная модификация метода ранговой корреляции Кендала.

Ключевые слова: физические средства обнаружения, математическая модель, метод ранговой корреляции Кендала, соответствие расчета и эксперимента.

Физический принцип действия средств обнаружения на основе линий вытекающей волны (СО ЛВВ) хорошо известен. Распространение высокочастотной энергии вдоль передающего излучающего кабеля (ИК) в результате дифракционных явлений на границах раздела физических сред (грунт-воздух) приводит к появлению во внешнем пространстве электромагнитного поля весьма сложной формы. Поле передающего ИК наводит ток проводимости во внешнем проводнике приемного излучающего кабеля, который играет роль распределенной приемной антенны (см. рис. 1). Напряжение, выделяемое при этом на согласованных нагрузках, – «ближнем» и «дальнем» концах приемного ИК – называется сигналом связи. При отсутствии человека – нарушителя (ЧН) в пространстве в непосредственной близости от приемной или передающей антенн, неизменных параметрах сред распространения ЭМП, моночастотном излучении и отсутствии внешних помех уровень этого напряжения будет оставаться постоянным.

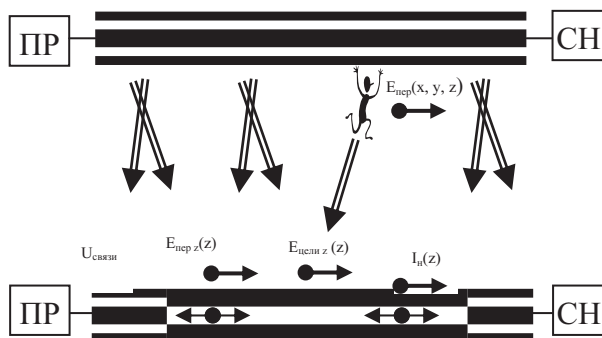


Рис. 1. Принцип действия СО ЛВВ

Переизлученное телом нарушителя поле передающего ИК вносит возмущение в распределение ЭМП вдоль приемной линии. Перемещение нарушителя вблизи места укладки ИК приводит к амплитудной и фазовой модуляции сигнала связи. Изменения амплитуды и фазы колебания на входе приемника, вызванные движением человека, являются полезной для процесса обнаружения информацией (сигналом от цели). Наряду с ним наблюдается паразитная модуляция (медленный дрейф) сигнала связи под воздействием изменения электрических параметров грунта, атмосферных явлений, колебаний растительности, внешних электромагнитных помех и др.

Моделирование процессов сигналообразования в средствах обнаружения на основе линий вытекающей волны (СО ЛВВ) призвано существенно снизить затраты на проведение масштаб-

ных экспериментов, без которых невозможно дальнейшее развитие обладающего уникальными тактическими характеристиками этого класса устройств. Математическая модель, изложенная в [1] позволяет осуществлять численный расчет сигнала связи и сигнала от цели в различных погодных условиях и при различных способах размещения излучающих кабелей (ИК). Модель основывается на строгом электродинамическом решении задач дифракции ЭМП вблизи плоской границы раздела сред, однако оценка ее адекватности реальным процессам, протекающим в СО ЛВВ целесообразна. Такая оценка была осуществлена с использованием теории распознавания образов.

Для двух различных вариантов размещения ИК на рубеже охраны (см. рис. 2) при стабильной сухой погоде были записаны квадратурные составляющие реализаций сигналов от нарушителя, пересекающего трассу укладки ИК под прямым углом. В обоих случаях воздушный кабель (№ 4) играл роль передающей ЛВВ, подземные кабели поочередно подключались к приемному устройству. Для исключения влияния на результат эксперимента эффектов отражения от концов ИК реализации снимались в срединной части трассы с шагом по продольной координате в 1 метр, нормировались по длительности (по количеству отсчетов) и объединялись в два каталога *K1* (приемный кабель № 6) и *K2* (приемный кабель № 5) по 22 пары квадратур в каждом. Для этих же погодных условий и параметров размещения кабелей на рубеже охраны на основе математических моделей были рассчитаны теоретические сигналы от движущегося нарушителя – *M1* и *M2*. На рис. 3-4 приведены квадратурные составляющие экспериментальных реализаций из каталогов 1 и 2 и соответствующие им математические модели.

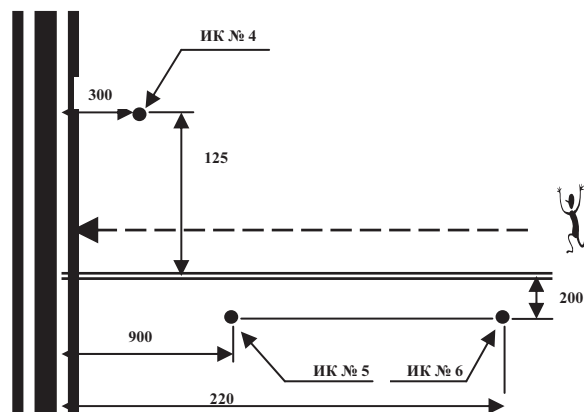


Рис. 2. Устройство экспериментальной трассы

Для определения степени схожести двух последовательностей чисел – в нашем случае модель и реализация – в теории распознавания образов вводится понятие расстояния, которое является некоторой функцией d от эталонного вектора M (модель) и испытуемого вектора K (практическая реализация). С целью вычисления расстояния широко используются различные математические выражения: Чебышевское и Евклидово расстояние, расстояние по Манхэттену и Каммберу и др. В каждом конкретном случае выбирается оптимальная функция из имеющегося немалого арсенала.

Неравномерность чувствительности исследуемого средства обнаружения по продольной координате приводит к тому, что полезный сигнал от реализации к реализации существенно отличается по амплитуде. При этом формы квадратурных составляющих полезного сигнала должны соответствовать теоретически рассчитанным моделям. В такой ситуации оптимальной мерой сходства между эталонной моделью и практическими реализациями оказалась ранговая оценка расстояния, предложенная в работах М. Кендала [2]:

$$d = f(\bar{K}, \bar{M}) = 1 - \frac{2}{n \cdot (n-1)} \sum_{l < k} \Delta_{lk}^M \cdot \Delta_{lk}^P, \quad (1)$$

где n – длина (количество отсчетов) последовательностей, а коэффициенты сравнения Δ определяются следующим образом:

$$\Delta_{lk}^M = \begin{cases} +1 & \text{при } M_l > M_k, \\ -1 & \text{при } M_l < M_k, \\ 0 & \text{при } M_l = M_k, \end{cases} \quad (2)$$

для опорной последовательности (модели) и

$$\Delta_{lk}^P = \begin{cases} +1 & \text{при } P_l > P_k, \\ -1 & \text{при } P_l < P_k, \\ 0 & \text{при } P_l = P_k \end{cases} \quad (3)$$

для испытуемой последовательности (реализации).

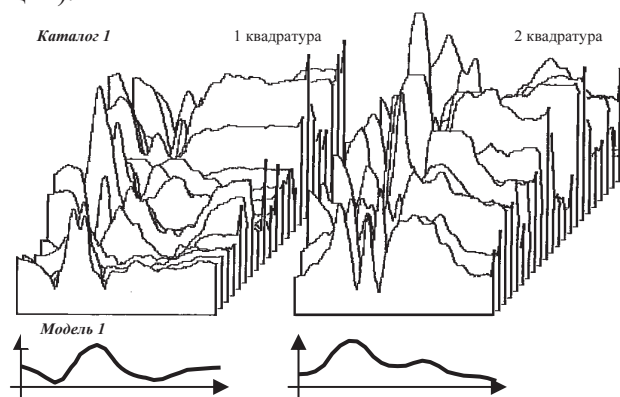


Рис. 3. Практические реализации и модели каталога 1

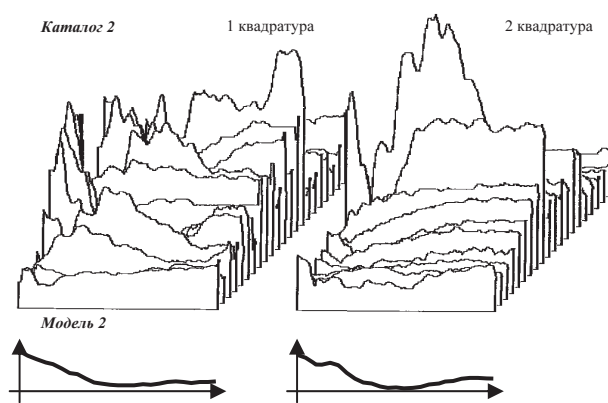


Рис. 4. Практические реализации и модели каталога 2

Как известно, число размещений из n по 2 равно $n(n-1)$, поэтому при одинаковой упорядоченности отсчетов в сравниваемых последовательностях расстояние между ними будет равно нулю. Максимальное (равное 2) расстояние между анализируемыми последовательностями соответствует противоположной упорядоченности отсчетов. При независимых коэффициентах сравнения, то есть при независимости опорной и оцениваемой последовательностей, расстояние d принимает единичное значение.

Применение в качестве классифицирующего правила рангового алгоритма обосновывается тем, что он базируется на понятии «сходства» формы между разделяемыми сигналами. Коэффициент сравнения, вычисляемый по формуле Кендала, зависит от того, насколько однотипно упорядочены предъявляемые последовательности, и не зависит от их абсолютного значения. Свойство инвариантности применяемого алгоритма к амплитуде исследуемых сигналов позволяет избежать лишних вычислений в условиях существенной продольной неравномерности чувствительности средства обнаружения.

Решающей программе предъявлялись реализации обоих каталогов экспериментальных сигналов. Программа классифицировала каждую предложенную реализацию по двум классам. В качестве разделяющих эталонов (прототипов классов) использовались теоретические реализации сигналов от нарушителя. Решающий автомат вычислял «расстояние» по Кендалу между очередной опытной реализацией и имеющимися моделями для каждой квадратурной составляющей. Алгоритм работы классифицирующей программы приведен на рис. 5. По результатам сравнения полученных расстояний испытуемая реализация относилась к одному из возможных классов. Результаты автоматической классификации квадра-

турных составляющих экспериментальных сигналов приведены в таблице 1.

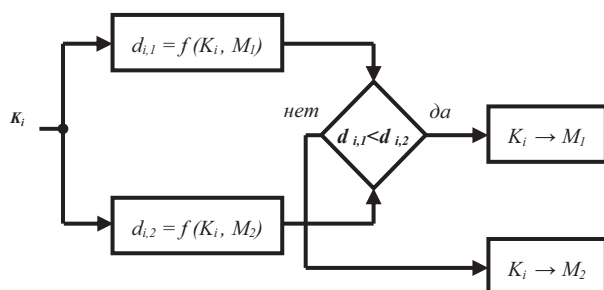


Рис. 5. Алгоритм классификации

Таблица 1. Результаты автоматической классификации квадратурных составляющих экспериментальных сигналов классическим алгоритмом Кендала

КАТАЛОГ	1 кв. – M1	1 кв. – M2	2 кв. – M1	2 кв. – M2
K1	18	4	19	3
K2	4	18	10	12

Результаты классификации, приведенные в таблице 1, уже говорят в пользу сходимости рассчитанных теоретически и снятых экспериментально результатов. Числовая степень их соответствия была оценена путем проверки гипотезы о «независимости признаков» с помощью известного критерия χ^2 [3]. В данном случае первым из признаков является априорная принадлежность практических реализаций к соответствующему каталогу (K), а вторым – результат их машинной классификации (M). При этом сам результат классификации можно трактовать как таблицу сопряженности указанных признаков. В ситуации, когда признаки принимают только два значения (в данном случае – реализация принадлежит классу $M1$ или $M2$) статистика X^2 , имеющая распределение χ^2 с одной степенью свободы рассчитывается наиболее просто (см. таблицу 2):

$$X^2 = \frac{n(n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21})^2}{n_{1\bullet}n_{2\bullet}n_{\bullet 1}n_{\bullet 2}}, \quad (4)$$

Таблица 2. Общий вид таблицы сопряженности для случая двузначных признаков

КАТАЛОГ	M1	M2	Σ
K1	n_{11}	n_{12}	$n_{1\bullet}$
K2	n_{21}	n_{22}	$n_{2\bullet}$
Σ	$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$	$n_{\bullet\bullet}$

Таблица 3. Таблица сопряженности признаков по результатам классификации (1)

КАТАЛОГ	M1	M2	Σ
K1	37	7	44
K2	14	30	44
Σ	51	37	88

Как видно из таблицы, первые квадратурные составляющие 18-ти из 22-х реализаций каталога $K1$ были отнесены к классу, эталонной последовательностью которого являлась модель $M1$. Лишь 4 реализации были отнесены решающей программой к классу сигналов, соответствующих модели $M2$, то есть классифицированы не верно. Первые квадратурные составляющие реализаций каталога $K2$ разделились между моделями так же в соотношении 4 к 18. Вторые квадратурные составляющие указанных каталогов разделились между моделями в соотношении 19 к 3 и 10 к 12.

где n_{ij} – частота событий типа «реализация из i -го каталога была отнесена к j -му классу, $n_{\bullet j} = n_{1j} + n_{2j}$ – число проявлений признака M_j – общее число реализаций, отнесенных к j -му классу), $n_{i\bullet} = n_{i1} + n_{i2}$ – число проявлений признака K_i – общее число реализаций в i -ом каталоге, $n_{\bullet\bullet}$ – общее число испытаний. Для простоты расчета деление сигналов на квадратуры не производилось.

Рассчитанное согласно этой таблице значение критерия независимости оказалось равным $\chi^2 = 24,7$, что отвергает поставленную гипотезу с высокой степенью достоверности (вероятность ошибки второго рода меньше чем 10-3). Правомерность применения самого критерия χ^2 была также проверена. Несостоятельность выдвинутой гипотезы статистически доказывает неслучайность классификации распознающим алгоритмом квадратурных составляющих практических реализаций относительно опорных теоретических моделей. Из чего можно сделать вывод об адекватности ис-

Таблица 3. Результаты автоматической классификации квадратурных составляющих экспериментальных сигналов модифицированным алгоритмом Кендала

КАТАЛОГ	1 кв. – М1	1 кв. – М2	2 кв. – М1	2 кв. – М2
K1	19	3	19	3
K2	3	19	9	13

пытуемой модели реальным физическим процессам, имеющим место в СО ЛВВ.

Резонно предположить, что в ходе машинного эксперимента неверно были классифицированы реализации, уровень полезного сигнала которых минимален, а относительное «зашумление» максимально. Однако тщательный анализ неправильно классифицированных сигналов показал, что часть реализаций, ошибочно отнесенных к чужому классу, имеют нетипичное соотношение максимумов и минимумов. Такое положение вещей позволило выдвинуть гипотезу, что при наличии в классифицируемых последовательностях нескольких интервалов монотонности использование традиционного алгоритма Кендала, учитывающего соотношение отсчетов испытываемых последовательностей по всей их длине, не всегда эффективно. Лучшей производительностью в такой ситуации должен обладать модифицированный кендаловский алгоритм, набирающий статистику в некотором скользящем «окне», длиной i отсчетов (см. рис. 6):

$$d = 1 - \frac{2}{i(i-1) \cdot (n-i+1)} \sum_{l < k, k-l, i} \Delta_{lk}^M \Delta_{lk}^P. \quad (5)$$

Очевидно, что протяженность скользящего окна имеет некоторое значение, оптимальное по критерию наилучшего качества классификации. Длину окна необходимо подбирать в период «обучения» классифицирующего алгоритма. При проведении машинного эксперимента было выяснено, что оптимальная протяженность окна примерно равнялась средней по теоретическим последовательностям длине интервалов монотонности, которая соответствовала среднему интервалу их корреляции. Результаты классификации квадратурных составляющих экспериментальных сигналов из каталогов K1 и K2 относительно моделей оконным алгоритмом Кендала сведены в таблицу 4.

Рост достоверности классификации экспериментальных реализаций наблюдался для трех из четырех групп квадратурных составляющих. Значение χ^2 , рассчитанное на основании таблицы 4, увеличилось до 31,3.

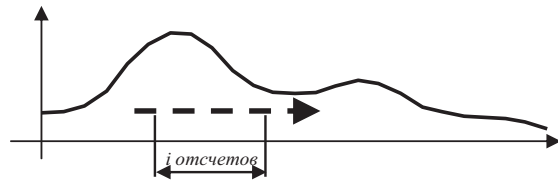


Рис. 6. Расчет «расстояния» между списками в скользящем окне

Для проверки правильности гипотезы о преимуществе предложенного модифицированного алгоритма Кендала были проведены аналогичные эксперименты для ряда других пар каталогов практических реализаций, протяженность которых равнялась протяженности реализаций каталогов K1 и K2. При этом считалось, что обучение распознающего алгоритма – подбор оптимальной длины окна – было осуществлено в ходе работы с первой парой каталогов. Во всех случаях при использовании скользящего окна в классическом алгоритме Кендала наблюдался небольшой выигрыш в качестве работы классифицирующей программы.

На основании проведенных численных экспериментов можно сделать два важных для дальнейших исследований вывода:

1. Адекватность предложенной в [1] математической модели физических процессов, протекающих в средствах обнаружения на основе линий вытекающей волны, подтверждается статистически.
2. При классификации последовательностей, имеющих не постоянный тренд, а несколько интервалов монотонности, методами распознавания образов с использованием ранговых алгоритмов целесообразно применять модифицированный алгоритм. «Оконный» алгоритм Кендала позволяет для некоторых классов последовательностей не только увереннее распознавать испытываемые сигналы, но и существенно снизить вычислительные затраты на его реализацию.

Литература

1. Бакланов В.В., Духан Е.И. Моделирование процессов сигналообразования в двухкабельных средствах обнаружения на основе линий вытекающей волны // Территориальные распределенные системы охраны. №7, 2009. – С. 31-35.
2. Фор А. Восприятие и распознавание образов. Пер. с франц. М.: Машиностроение, 1989. – 354 с.
3. Тюрин Ю.Р., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1995. – 384 с.

USING MODIFIED RANK CORRELATION CRITERIA TO EVALUATE CONFORMITY OF LEAKY CABLE INTRUSION DETECTION SENSORS MATHEMATICAL MODEL WITH EXPERIMENTAL DATA

Dukhan E.I.

This paper presents statistical verification of mathematical model that can be used in theoretical research into wave shaping processes in leaky cable intrusion detection sensors. Modification of Kendall's rank correlation criteria is proposed to achieve greater reliability of decision.

Keywords: *physical means of detection, mathematical model, the method of rank correlation Kendal's, relevance calculation and experiment.*

Духан Евгений Изович, к.т.н., доцент, войсковая часть 69617, военнослужащий. Тел. (8-343) 228-28-10. E-mail: eduhan@pm.convex.ru

УДК 621.37

ПРИНЦИПЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В СЕТИ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Моденов С.В., Сподобаев М.Ю.

В настоящей статье рассматриваются принципы оперативного мониторинга электромагнитной обстановки (ЭМО) в сетях сотовой связи третьего поколения, а также практические технические возможности, позволяющие создать подобную систему.

Ключевые слова: мониторинг, электромагнитная безопасность, сеть сотовой связи.

В общем случае экологический мониторинг должен включать наблюдение за воздействующим фактором, оценку состояния природной среды по соответствующим критериям и прогнозирование обстановки по этому фактору. Мониторинг ЭМО осуществляется для целей санитарно-гигиенической экспертизы на этапах проектирования, строительства и эксплуатации излучающих технических средств. Основа такого мониторинга – это прогнозирование ЭМО расчетными методами, а в последнее время часто с использованием возможностей геоинформационных технологий [1]. Расчеты проводятся обычно на критические режимы работы – условия прямой видимости, максимальные излучаемые мощности и прочее.

В настоящее время актуальной задачей является создание системы оперативного мониторинга ЭМО сотовой связи. Суть такого мониторинга заключается в контроле уровня электромагнитных полей в любой момент времени на любом участке зон обслуживания для реальных эксплуатационных параметров оборудования.

«Реальная безопасность сотовой связи может быть достигнута исключительно на системном уровне. Именно на этом уровне могут быть сформу-

лированы и реализованы обоснованные технические, организационные, экономические, правовые, этические и иные требования ко всем элементам сети, обеспечивающие реальную экологическую безопасность сотовой связи в тех или иных условиях» [2].

Поставлена задача разработки системы, способной выполнять соответствующие математические вычисления по определению электромагнитного поля, в зонах обслуживания сетей современной сотовой связи. Система должна быть универсальной с точки зрения интеграции в существующие сети любых операторов. Для этого создаются специальные модули под каждого вендора с целью конвертирования форматов выходных данных с соответствующих центров сотовой связи на систему оперативного мониторинга ЭМО для ее корректного функционирования. Это является одной из ключевых задач, которые необходимо решить при создании системы.

Схема внедрения системы оперативного мониторинга ЭМО в сеть сотовой связи третьего поколения приведена на рис. 1.

С контроллера базовых станций (RNC-radio network controller) на систему оперативного мониторинга ЭМО поступают данные о существующей конфигурации сети (количестве базовых станций, их местоположение, высота подвеса антенн, углы места и азимутальные направления), а также статистические данные об излучаемой мощности каждой базовой станции. От геоинформационной системы поступают картографические данные (рельеф, тип местности, застройка), на которые в системе опера-