

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СДВ РАДИОЛИНИЙ КАК ОБЪКТОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Бозиев М.Ш., Демидов С.А.

Открытое акционерное общество «Гранит», г.Макеевка

e-mail: granit@tr.dn.ua

Abstract

Bozijev M.Sh., Demidov S.A. The analysis of VLF radio links features as object for identification. The analysis of identification attributes of VLF radio link is made. Authentication parameters of link, transport parameters of signals and informing parameters of signals are chosen as basic attribute. The features of identification tasks of VLF radio links are considered.

Анализ проблемы и постановка задачи. СДВ радиолинии создавались с середины прошлого века преимущественно для нужд навигации и связи подводных флотов ведущих капиталистических стран и СССР. В таком качестве они существуют и совершенствуются в настоящее время. В последнее десятилетие сигналы СДВ радиолиний стали интенсивно использоваться как зондирующие для геофизических исследований (прогнозирование землетрясений, исследования вулканической деятельности, цунами и др. [1]). Для выполнения исследований на основе использования зондирующих сигналов необходима достоверная информация об их исходных параметрах. Параметры сигналов (излучения) многих СДВ стационарных передающих центров известны [2], однако при приеме и регистрации таких сигналов в ходе геофизических экспериментов важно знать локализацию передатчика, так как это дает возможность судить о радиотрассах и той части околоземного пространства, изменение физических свойств которого повлияло на параметры принимаемого зондирующего сигнала. Отсюда возникает задача идентификация радиолинии по принимаемому сигналу и априорным данным о локализации сигнала СДВ известных передающих центров, решение которой требует рассмотрения специфики сигналов и помех, существующих и активных в настоящее время СДВ радиолиний. Вышесказанное определяет цель исследования, результаты которого приведены в данной работе.

Решение задачи и результаты исследования. Информация об источниках вышеупомянутых сигналов в открытой печати стран СНГ не обнаружена. Поэтому в качестве основы приводимого ниже обзора сведений о СДВ сигналах и их источниках взяты данные, приводимые в зарубежных средствах печати и Интернет-ресурсах.

Сигналы СДВ радиолиний и их источники.

В соответствии с генеральным планом модернизации средств связи подводного флота США и НАТО рекомендованы частотные диапазоны 40-80Гц и 14-60кГц (см, табл.1, [3]). Рекомендованы следующие виды модуляции:

- частотная манипуляция (FSK);
- манипуляция с минимальным фазовым сдвигом (MSK);
- телеграфная манипуляция незатухающего несущего колебания (CW).

Каналы передачи используют криптографическую обработку передаваемых сообщений, а принимаемые сообщения регистрируются соответствующими автоматизированными средствами или используются для принятия тактических решений и управления оборудованием.

Скорости передачи информации ограничены сверху низкими значениями частоты несущего колебания, а так же спецификой распространения СДВ волн и, как правило, не превышают 50 бит/с. В радиолиниях с частотой несущей в несколько десятков герц скорость передачи существенно ниже. В связи с этим время, затрачиваемое на передачу сообщения, может составлять несколько десятков минут. В настоящее время зарегистрировано только два передающих центра, обслуживающих радиолинии подводных лодок в этом сверхнизкочас-

тотном диапазоне. Один из них расположен в районе Великих озер (США), вещает на частоте 76Гц и обслуживает ВМФ этой страны. Используемый вид модуляции –FSK. Второй – размещен на Кольском полуострове (Россия), средняя рабочая частота -82Гц, обслуживает подводный флот Российской федерации. Используемый вид модуляции – MSK. Реальные уровни сигналов, поступающие на входы наземных приемников, могут составлять величину –(60-100)дБм (см. табл.2. [2]).

Линии связи подводных лодок

Таблица 1.

№ п/п	Радиолиния	Частота, кГц	Тип линии	Модуляция	Скорость передачи, бит/с	Криптографирование	Тип информации
1	ELF	(40-80)*10 ⁻³	R	MSK	LDR	KOV-11	Запись (текст)
2	VLF/LF (Verdin)	14-60	R	FSK/MSK/CW	50	KG-38	Запись/тактич.
	Тактич.еск..						
3	VLF/LF (Verdin)	14-60	R	MSK	LDR	KG-38	Запись (текст)
	Стратегич.						
4	VLF/LF FSK (Verdin)	14-60	R	FSK	50	N/A	Запись (текст)
	Стратегич.		R				
5	VLF/LF (Vallor)	14-150	R	FSK	50	RWR-46	Запись/тактич.
6	VLF/LF (Vallor)	14-60	R	FSK/MSK/CW	50	RWR-46	Запись (текст)
	NATO		R				
7	VLF/LF/Двойное криптографирование (Verdin)	14-60	R	MSK	50	RG-38	Запись (текст)
8	VLF/LF FSK	14-60	R	CW/FSK	N/A	N/A	Аудио/Морзе

В таблице 2 приведены параметры, по которым могут быть идентифицированы радиолинии и источники сигналов в них. К таковым относятся позывной сигнал, который однозначно определяет страну регистрации передающего центра, частоты несущего колебания, закрепленного за позывным, вид модуляции, скорость передачи информации и направление на работающий передатчик или его локализация. Сигналы отдельных СДВ передатчиков имеют столь специфическую реализацию, что их трудно спутать с какими-либо другими. К таким сигналам относятся сигналы навигационной системы «Alpha». В других случаях требуется привлечение дополнительных идентифицирующих признаков, получаемых, например, при спектральной обработке, в частности, спектрограммы (см. рис.1 и рис. 2 [2]).

Спектрограмма несет информацию о частотных и временных свойствах сигналов, однако она не позволяет реализовать потенциальную точность оценивания частотных и временных характеристик одновременно. Для получения надежных оценок приходится прибегать к увеличению разрешения по времени за счет снижения разрешения по частоте и наоборот (см. рис. 3а и 3б [3]). Такие комплексные оценки сигналов плохо формализуются и, как правило, для принятия решений требуют привлечения экспертов-операторов.

Помехи в радиолиниях СДВ диапазона. Принципиальным ограничением возможности приема радиосигналов СДВ диапазона являются помехи природного происхождения. Очень

много природных явлений участвуют в формировании шумового спектра околосреднего пространства, но молния является доминирующим источником. Природный шум низкой частоты, создаваемый разрядами молний, преобладает во всем мире.

Параметры идентификации источников сигналов некоторых СДВ радиолиний.

Таблица 2.

№ п/п	Позывной сигнал	Частота, кГц	Страна принадлежности	Модуляция	Уровни принимаемых сигналов, дБм	Примечания
1	Alpha	6 частот в диапазоне 11.905 kHz, - 15.625 kHz.	Россия	CW	Сигнал - (97-87) дБм	Распред. навигационная система; P _{TX} =500кВт
2	VTI	15,100	Индия	A1A		Связь ВМФ
3	NBH	15,300	США	A1A, F1B, MSK		-«-
4	NPM	15,700	США	A1A, F1B, MSK		-«-
5	GBR	16,000	Великобритания	MSK, A1A		-«-
6	JXN	16,400	Норвегия	MSK, 200Bd		-«-
7	VTX3	18,200	Индия	MSK, A1A	Сигнал - (90-85) дБм	-«-
8	HWU	18,750	Франция	MSK		-«-
9	GBZ	19,600	ГВВеликобритания	MSK		-«-
10	ICW	20,270	Италия	MSK		-«-
11	ICV	20,300		MSK		-«-
12	3SA	20,600	A1A, F1B/50Гц	A1A, F1B/50Гц		-«-
13	3SB	21,100	A1A, F1B/50Гц	A1A, F1B/50Гц	Сигнал - (80-65) дБм	Связь ВМФ, Датун
12	NPM	21,400	США	MSK	Сигнал - (95-87) дБм	P _{TX} =566кВт, Гавайские о-ва.
13	HWU	21,750	Франция	MSK		Связь ВМФ
14	JJI	22,200	Япония	F1B/50Гц		-«-
15	NAA	24,000	США	MSK		-«-
16	NLK	24,800	США	MSK		-«-
17	NML4	25,200	США	MSK		-«-
18	NOV	25,600	США	F1B/50 Гц MSK/800Гц		Связь ВМФ; Моб. станция, Сев. Атлантика
19	NJB	26,200	США	F1B/50 Гц MSK/800Гц		Связь ВМФ; Моб. станция, Тихий океан
20	TBB	26,700	Турция	MSK		Связь ВМФ
21	NOV	26,900	США	F1B/50 Гц MSK/800Гц		Связь ВМФ; Моб. станция, Сев. Атлантика

Взаимодействие распространяющегося излучения с геомагнитным полем вызывает некоторые до сих пор плохо изученные эффекты, такие как «свистящие атмосферерики» и «атмосферные помехи», которые должны быть отнесены к вторичным проявлениям грозových разрядов и формируют нестационарную и импульсную составляющую помех.

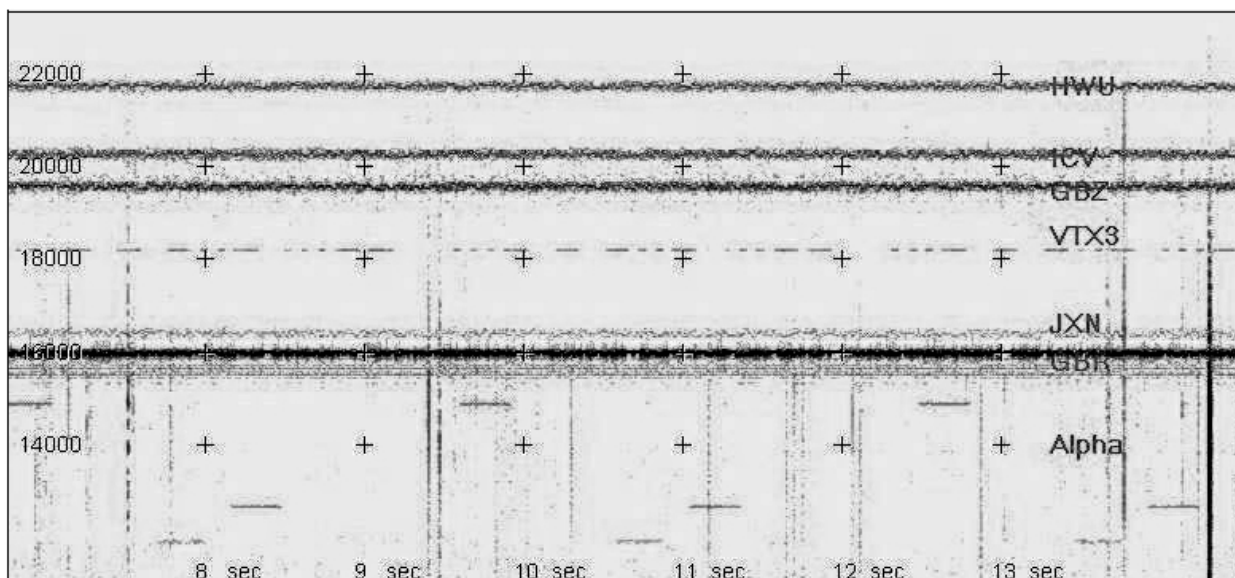


Рис.1. Спектрограммы сигналов некоторых радиолиний (ось абсцисс - время в сек., ось ординат – частота в кГц).

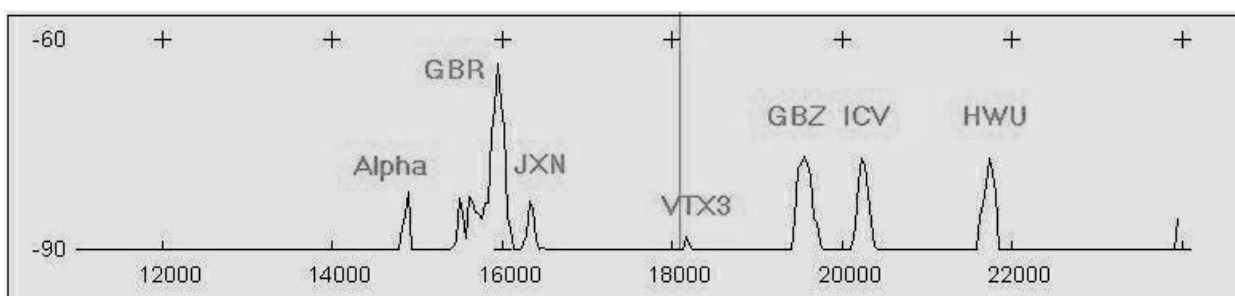
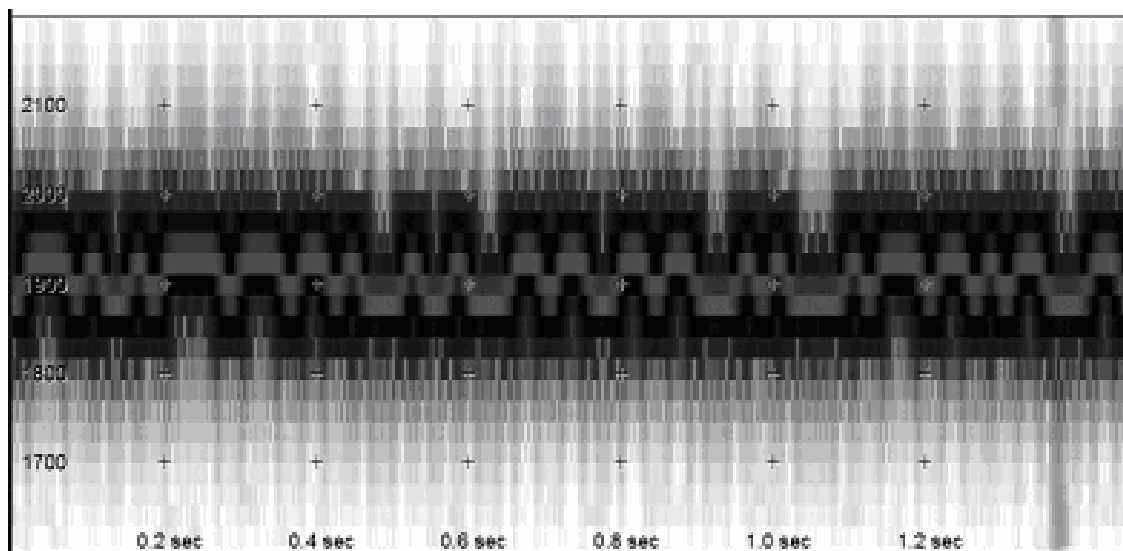


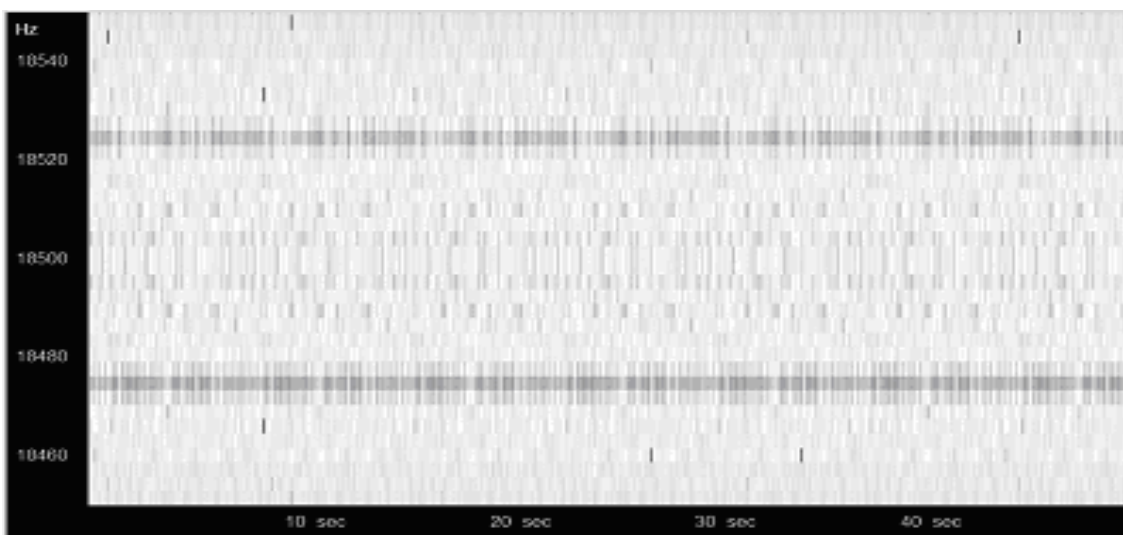
Рис.2. Спектры мощности сигналов, соответствующие спектрограммам рис.1 (ось абсцисс - частота в Гц., ось ординат – относительный уровень в дБ).

В районах, где имеют место северные сияния и «авроры», возбуждаемые солнечными фотонами высоких энергий, в составе природных шумов могут присутствовать компоненты с существенной энергией шумов, связанных с указанными природными феноменами. Менее мощными источниками низкочастотного природного шума являются торнадо, извержения вулканов, пылевые бури и землетрясения. Пример спектрограммы, отображающей общую картину помех природного происхождения, приведен на рис.4 [2]. Здесь достаточно четко просматриваются как общий шумовой фон в виде «ряби» относительно равномерно распределенной по полю графика и импульсная составляющая, характеризующаяся узкой временной локализацией, значительным уровнем и широким частотным диапазоном, а так же «свистящие атмосферерики» с монотонно убывающими частотными компонентами («серпообразные» области на общем шумовом фоне). Просматриваются так же периодические помехи в виде горизонтальных параллельных линий по полю графика. Как видно из графика помехи носят сложный, нестационарный характер.

Усредненный спектр помех природного происхождения приведен на рис.5.[2] из которого следует, что среднее значение интенсивности помех убывает с частотой. Наклон аппроксимирующей прямой для большей части графика соответствует 20дБ/дек.



а)



б)

Рис.3. Спектрограмма передатчика с FSK модуляцией: а) оценка временных параметров сигнала; б) – оценка спектральных параметров сигнала

Это вполне согласуется с общей закономерностью распределения энергии шумовых природных процессов (спектральная плотность шума обратно пропорциональна частоте – закон « $1/f$ »). Указанное правило не распространяется на область 5-20 кГц, где поведение зависимости немонотонно, причем, на границах указанного интервала, отклонение может составлять 10-55дБ.

Помехи, рассмотренной выше природы, могут быть сведены к аддитивной модели шумов, действующих на входе приемника.

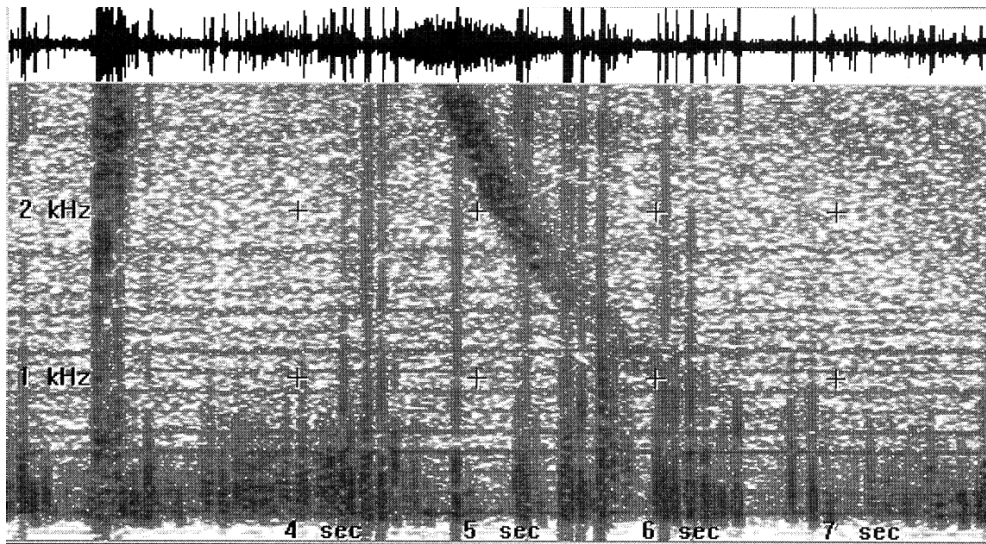


Рис.4. Фрагмент спектрограммы, отображающей характерные помехи СДВ диапазона (горизонтальная ось – текущее время; вертикальная ось- частота; интенсивность помех отображается уровнем серого; в верхней части графика приведен анализируемый фрагмент реализации)

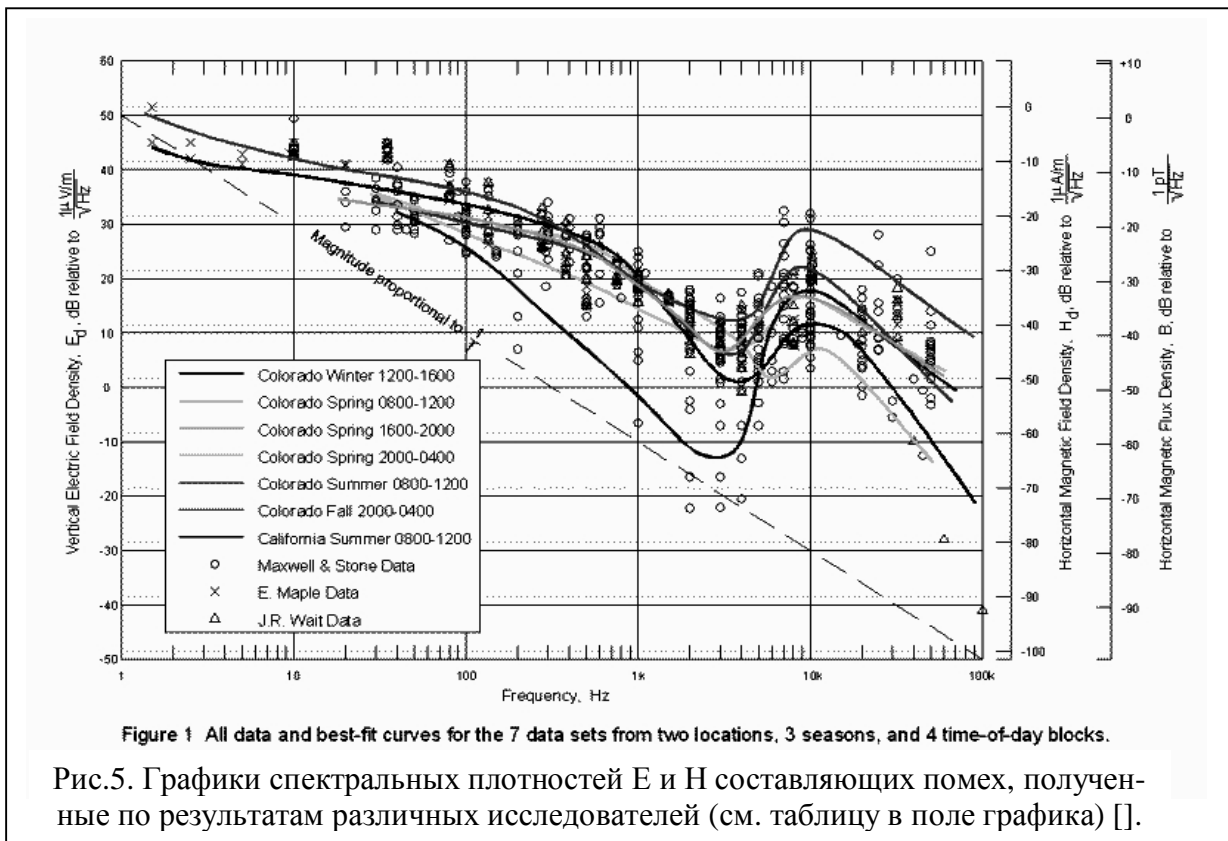


Рис.5. Графики спектральных плотностей E и H составляющих помех, полученные по результатам различных исследователей (см. таблицу в поле графика) [1].

Однако существуют условия, когда эта модель оказывается недостаточной для адекватного описания влияния внешних воздействий на качество приема сигналов СДВ радиолонии. В, частности, таковыми являются суточные изменения условий распространения радиоволн СДВ диапазона. На рис. 6 [2] приведены результаты наблюдений за изменением амплитуды и фазы принимаемого сигнала стабильного передатчика в течение суток.

Как видно из приведены зависимостей амплитуда принимаемого сигнала более стабильна в дневные часы, хотя усредненное значение амплитуды днем и ночью отличаются

незначительно. Флуктуация фазы принимаемого сигнала ночью так же существенно больше ночью, чем днем, однако, в отличие от суточных изменений амплитуды, среднее значение фазы принимаемого сигнала в ночные часы существенно отличается от фазы сигнала днем. Быстрые флуктуации амплитуды принимаемого сигнала и, особенно, его фазы могут существенно снизить помехоустойчивость радиолиний и затрудняют использование помехоустойчивых методов когерентного радиоприема. Указанное явление в СДВ радиолиниях может быть описано мультипликативной моделью помех.

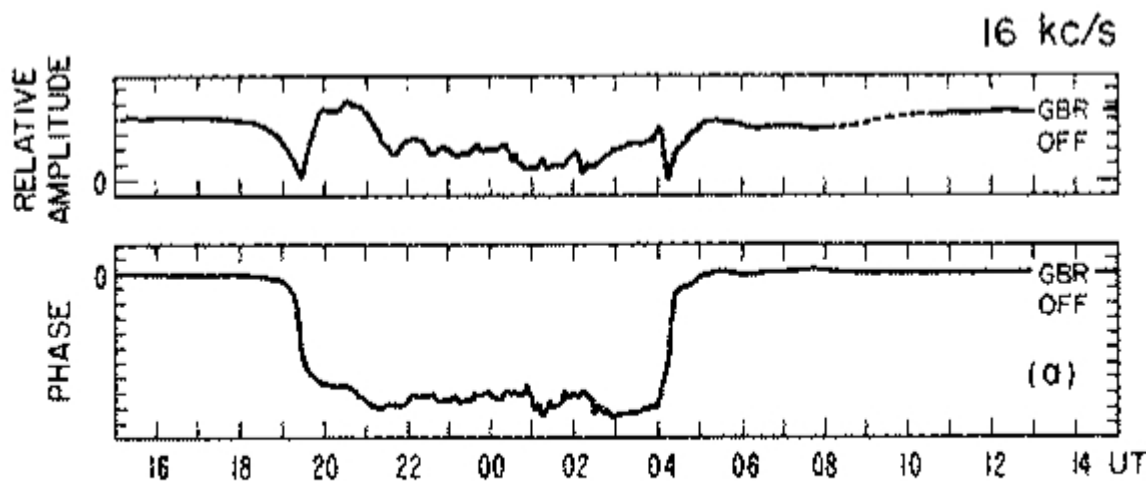


Рис.6. Изменения амплитуды и фазы СДВ сигнала в течение суток для радиолинии Рагби-Франкфурт-840км (по. А.G.Jaen)

Выводы

1. Обнаружение сигналов радиолиний СДВ диапазона осложняется многокомпонентной структурой помех их значительным уровнем и нестационарностью.
2. Естественным набором признаков для идентификации СДВ радиолиний являются: позывной сигнал, направление на передатчик, частота несущего колебания, ширина полосы сигнала.
3. Анализ тонкой структуры сигналов радиолинии потенциально повышает достоверность идентификации. В качестве признаков, получаемых в результате такого анализа, могут быть: девиация частоты и фазы манипулированного сигнала, а так же скорость передачи информации в радиолинии.
4. Построение систем идентификации СДВ радиолиний ставит несколько разноплановых исследовательских задач связанных с обнаружением СДВ радиоизлучения, измерением транспортных параметров принимаемого сигнала, восстановлением закона изменения информативных параметров сигнала во времени, их измерением и принятием решений.

Литература

1. Поддельский И.Н. Изменение характеристик СДВ – сигналов в период землетрясений 1994-1995 годов // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений: II между. сов., август, 2001 г., с.Паратунка Камч.обл. : [тезисы] —Петропавловск-Камчатский, 1998 г. С. 23-24.
2. THE OPEN LAB's – ELF and VLF frequency Guide By Trond JACOBSEN. Режим доступа: <http://www.vlf.it/trond2/list.html>
3. Submarine Communications Master Plan (December 1995). Режим доступа: <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/scmp/index.html>