

УДК 621.371:550.837.6

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПОИСКА И МОНИТОРИНГА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Д.В. ГОЛОЛОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 20 декабря 2012

Рассмотрены особенности структурного построения радиокomплексов, обеспечивающих заданные требования к качеству оценки аномального поведения электромагнитного поля при решении задач поиска и мониторинга поверхностных проявлений углеводородных залежей на фоне гетерогенной и полифазной среды.

Ключевые слова: радиотехнический комплекс, углеводородная залежь, естественное излучение, поверхностные границы контура залежи.

Введение

Ранее, в работах [1–3], были представлены результаты исследований основ взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) и специфической среды над углеводородной залежью (УВЗ), позволяющих создавать принципиально новые устройства и комплексы для решения задачи поиска, мониторинга и обнаружения поверхностных проявлений УВЗ. Опыт разработки и эксплуатации экспериментальных образцов аппаратуры позволяет сформулировать требования к техническим характеристикам радиотехнических комплексов, обеспечивающих оптимальное решение задач поиска и/или мониторинга поверхностных границ УВЗ.

Классификация радиотехнических комплексов

Радиотехнические комплексы для поиска и мониторинга УВЗ (РТКПУ) в зависимости от реализации методов электроразведки и практического применения могут быть условно классифицированы по следующим признакам (рис. 1): наличию и типу источника формирования поля; количеству и виду используемых сигналов; пространственному расположению элементов комплекса.

Первый признак определяет наличие или отсутствие контролируемого источника излучения ЭМВ. Поэтому по типу формирования поля РТКПУ делятся на активные, полуактивные и пассивные. Активные предполагают формирование поля с помощью специального передатчика, удаленного от приемника в область, соответствующую дальней (промежуточной) зоне. Полуактивные используют поле, сформированное действующими источниками излучения (радиостанциями, телевизионными, радиолокационными передатчиками гражданского и другого назначения) или специальными источниками излучения в ближней зоне приемной антенны. Пассивные РТКПУ предполагают измерения естественного излучения углеводородных соединений без использования источников излучения ЭМВ.

По количеству используемых сигналов РТКПУ делятся на одно-, двухчастотные и многочастотные, с использованием модуляции или суперпозиции сигналов, что предопределяет их структуру – одно-, двух- или многоканальную (рис. 2).

Разнос элементов (передатчиков и приемников) РТКПУ осуществляется на расстояние или по поляризации. При этом расстояние может быть фиксированным или меняться в процессе измерения. В зависимости от разноса антенн в пространстве элементы комплекса могут быть стационарными, носимыми или мобильными (размещенными на передвигаемой платформе).

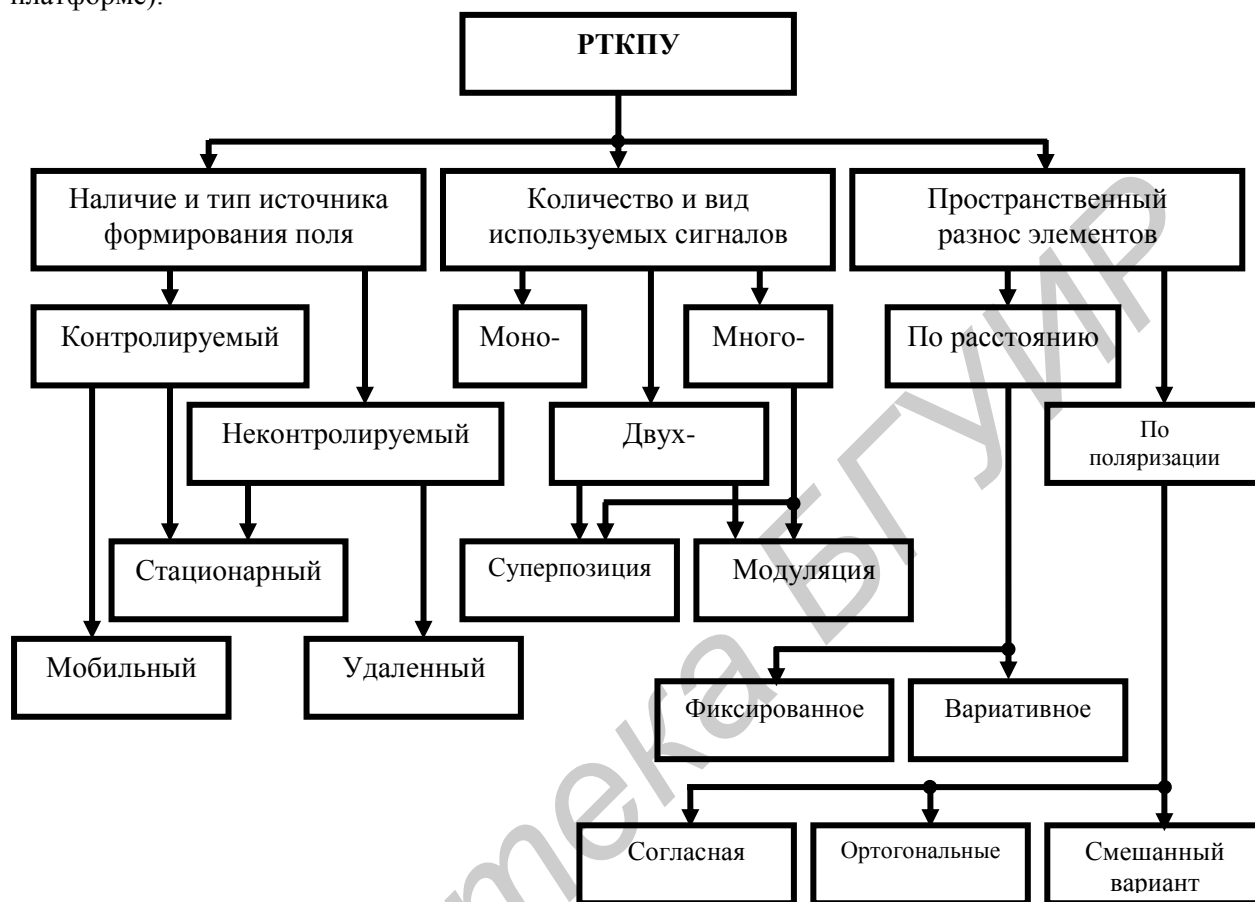


Рис. 1. Классификация комплексов по расположению источников и структуре ЭМВ

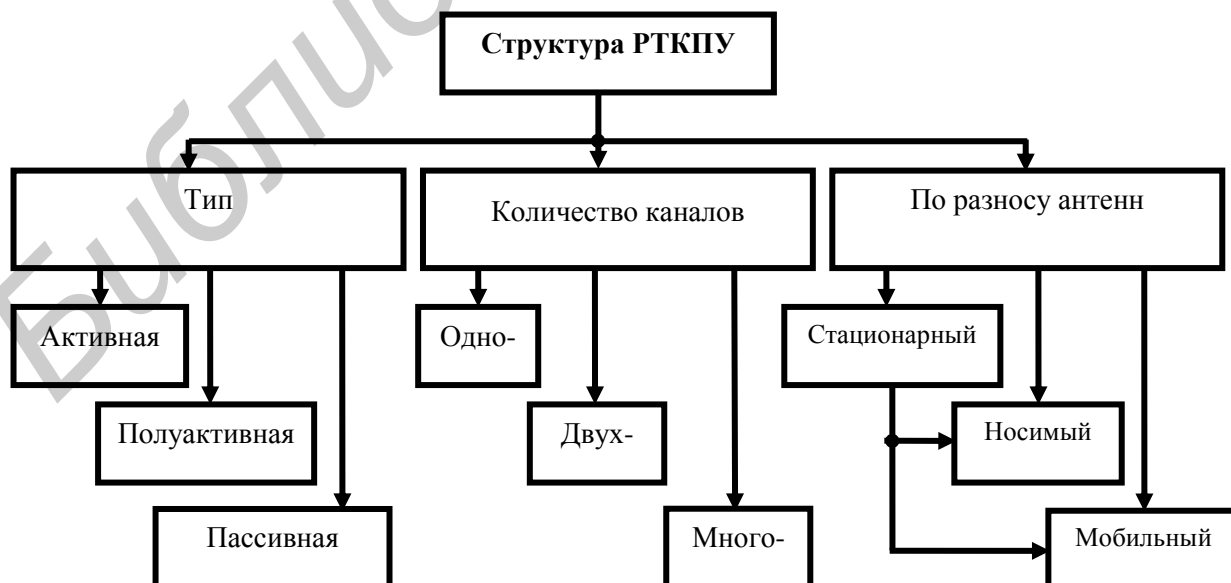


Рис. 2. Классификация структурного построения комплексов

Обобщенная структурная схема РТКПУ

Обобщенная структурная схема РТКПУ, приведенная на рис. 3, содержит приемную часть 1, которая перемещается вдоль профиля, и набор излучающих систем (1 – блок приема и обработки информации; 2 – антенна приемника; 3 – антенна навигационной системы; 4 – измерительный приемник; 5 – радионавигационный приемник; 6 – блок совмещения измерительной и навигационной информации; 7 – оконечное устройство; 8 – система удаленных радиостанций; 9 – система стационарных передатчиков; 10 – антенна передатчика подсвета; 11 – передатчик подсвета; 12 – набор радионавигационных ИСЗ; 13 – комплекс помех). Для координации перемещений по геологическому профилю может быть применена специальная радионавигационная система (РНС).

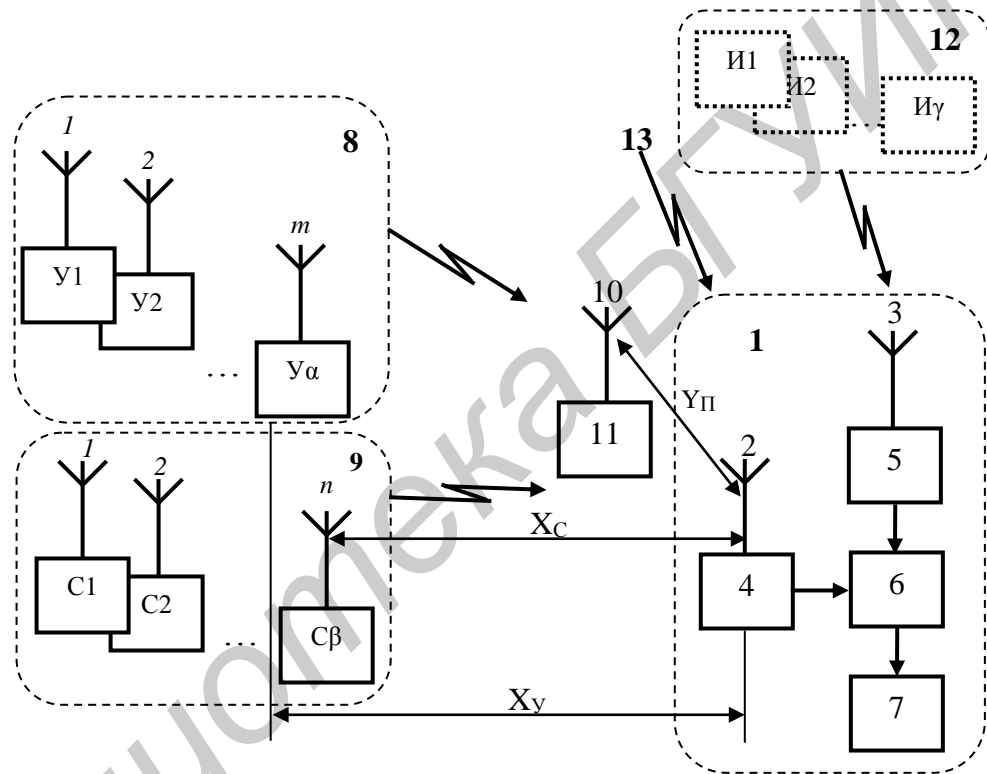


Рис. 3. Обобщенная схема РТКПУ

Система удаленных радиостанций 8 формирует набор излучений α с произвольной модуляцией $M^\alpha(m^\alpha)$, имеет ограниченный спектр с заданной несущей частотой f_0^α и поляризацию \vec{p}^α

$$S_{y_1}(t), S_{y_2}(t), \dots, S_{y_\alpha}(t) = \phi(P^\alpha, M^\alpha(m^\alpha), f_0^\alpha, \vec{p}^\alpha), \quad (1)$$

здесь P^α – мощность станции; M – коэффициент амплитудной модуляции; m – индекс угловой модуляции.

Система стационарных передатчиков 9 формирует набор излучений β с заданной мощностью P^β , известной модуляцией $M^\beta(m^\beta)$, имеет ограниченный спектр с заданной несущей частотой f_0^β и поляризацию \vec{p}^β :

$$S_{c_1}(t), S_{c_2}(t), \dots, S_{c_\beta}(t) = \phi(P^\beta, M^\beta(m^\beta), f_0^\beta, \vec{p}^\beta). \quad (2)$$

Передатчик подсвета 11 формирует излучение с заданной модуляцией $M^p(m^p)$, имеет ограниченный спектр с заданной несущей частотой f_0^p с мощностью P^p и поляризацию \vec{p}^p :

$$S_{11}(t) = \Phi(P_{11}^p, M^p(m^p), f_0^p, \vec{p}^p). \quad (3)$$

Набор радионавигационных спутников 12 формирует многоканальную информацию о координатах местонахождения приемника РНС: $\varphi_{И}$ – долгота и $\theta_{И}$ – широта, а также высоты над уровнем моря $h_{И}$

$$S_{И1}(t), S_{И2}(t), \dots, S_{И\gamma}(t) = \Phi(\varphi_{И}, \theta_{И}, h_{И}, f_0^\gamma, \vec{p}^\gamma), \quad (4)$$

Извлечение полезной информации об углеводородном объекте на дневной поверхности производится на фоне действующей совокупности источников помех

$$Y(t) = Y_\xi(\lambda_\xi^Y \langle t \rangle, \vec{p}_\xi^{-Y}), \quad (5)$$

где $\lambda_\xi^Y \langle t \rangle$ – обобщенный параметр и поляризация \vec{p}_ξ^{-Y} помехи ξ .

Существует также собственное излучение залежи (в том числе и акустическое) [2]

$$S_3(t) = \Phi(P_3, f_{cp}^3), \quad (6)$$

характеризуемое мощностью P_3 и средней частотой f_{cp}^3 .

При регистрации поверхностного проявления УВЗ на входе приемного устройства присутствует смесь электромагнитных сигналов, состоящая из сигналов контролируемых источников, сигналов действующих радиостанций и помех, описываемых функционалами зависимостей параметров сигналов от свойств среды над УВЗ, а также условий распространения радиоволн (РРВ):

$$F[S(t)] = \sum_{i=1}^{\alpha} S_{Y_i}(G_i, R_i, T_i) + \sum_{j=1}^{\beta} S_{C_j}(G_j, R_j, T_j) + \sum_{m=1}^{\rho} S_{П_m}(G_m, R_m, T_m) + \sum_{n=1}^{\eta} Y_n(t) + \sum_{\mu=1}^{\gamma} S_{3\mu}(t), \quad (7)$$

где $G = f(\varepsilon[N_e, N_u, \nu, \dots], \mu[J], \sigma[N_e, N_u, \nu, \dots])$ – обобщенный параметр среды; R – обобщенная функция, учитывающая условия РРВ; T – обобщенная функция, учитывающая спектрально-временную структуру сигнала источника и помехи.

Выражение (7) характеризует сложную электромагнитную картину при проведении измерений, направленных на извлечение информации об УВЗ. Каждый член этого функционала зависит от параметров подстилающей среды, от структуры сигналов, условий РРВ, также от действия помех. Поэтому необходимо отдельное рассмотрение применения методов с обязательным исключением или учетом «мешающих» излучений и помех.

Анализ структурного построения классов РТКПУ

Рассмотрим вклад каждого члена (7) в задаче извлечения полезной информации об УВЗ, связанной с пространственно-временной обработкой сигналов. В зависимости от состава функционала (7) можно разделить РТКПУ на классы. При использовании четырех полезных компонентов (7) в общем случае может существовать 15 классов комплексов. Учитывая тенденции развития и новые элементы методов электроразведки, рассмотрим следующие классы РТКПУ:

- с использованием сигналов удаленных станций;
- с применением стационарных передатчиков;
- с использованием передатчиков подсвета;
- пассивные;
- комбинированные, предполагающие совмещение двух методов.

РТКПУ с использованием сигналов удаленных станций. Согласно [3], для реализации метода радиокип и его модификаций используются электромагнитные поля, сформированные действующими радиостанциями. При реализации способа выражение (7) упрощается и принимает вид

$$F[S(t)] = \sum_{i=1}^{\alpha} S_{y_i}(G_i, R_i, T_i) + \sum_{n=1}^{\eta} Y_n(t). \quad (8)$$

В выражении не учитываются естественные излучения УВЗ. Из (8) следует, что лишь один сигнальный компонент подвержен влиянию подстилающей среды. Структурная схема РТКПУ приведена на рис. 4 (1 – блок приема и обработки информации; 2 – антенна приемника; 3 – антенна навигационной системы; 4 – измерительный приемник; 5 – радионавигационный приемник; 6 – блок совмещения информации; 7 – оконечное устройство; 8 – система удаленных радиостанций; 9 – базовая станция; 10 – антенна приемника; 11 – приемник; 12 – модулятор; 13 – генератор вспомогательной несущей частоты; 14 – передатчик вспомогательного радиоканала; 15 – антенна передатчика ВРК; 16 – антенна приемника; 17 – ВРК). Схема содержит измерительный приемник 4, перемещающийся по заданному геологическому профилю. Местоположение приемника на профиле регистрируется радионавигационным приемником 5. Совмещение измеренной информации и данных о местоположении измерительного приемника осуществляет блок 6.

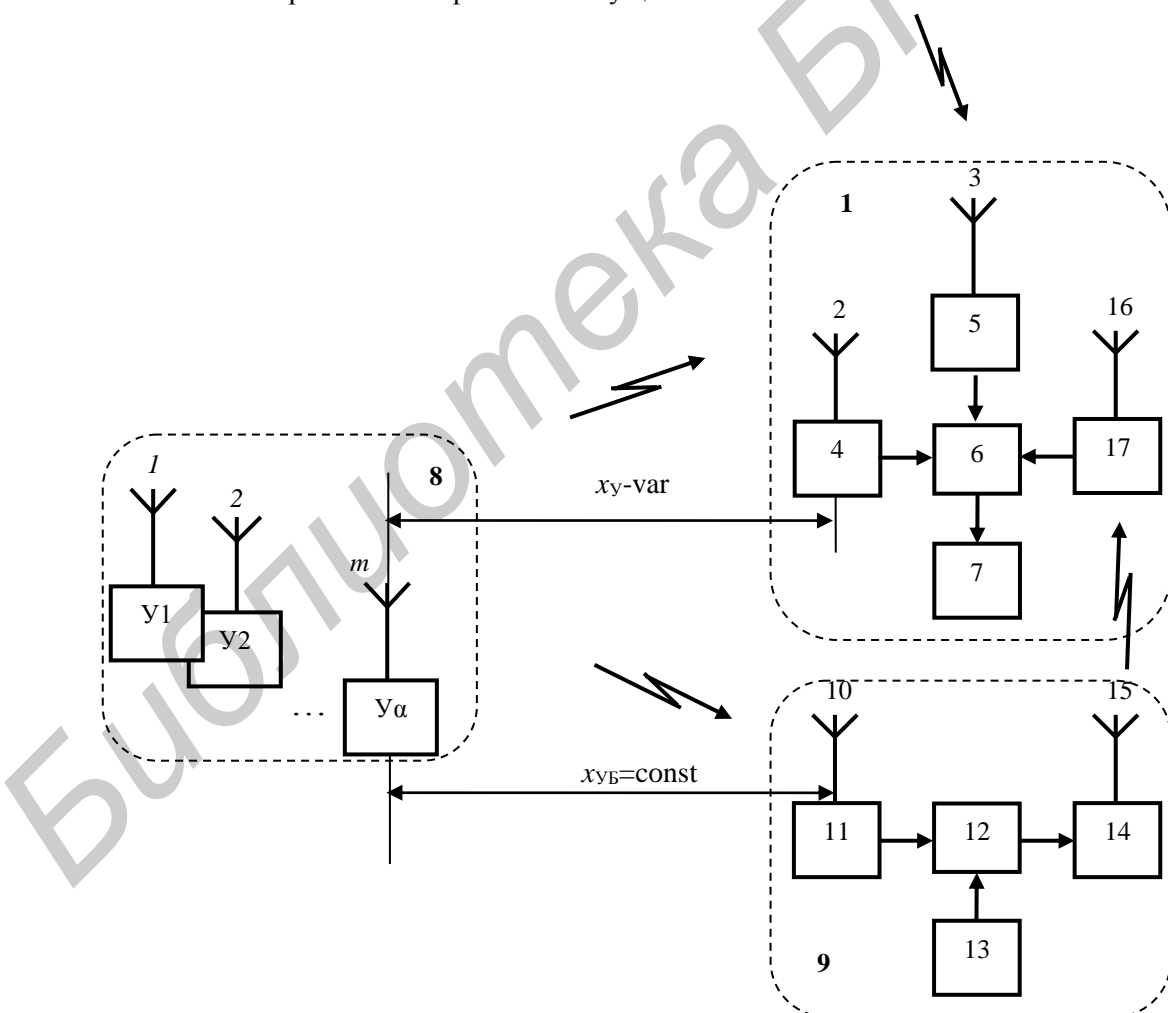


Рис. 4. Структурная схема РТКПУ при использовании сигналов удаленных радиостанций

При создании радиокомплекса следует учитывать возникновение замираний сигналов, связанных с частичной или полной потерей его спектра. Источник формирования поля

оказывается неконтролируемым, и для организации контроля удаленных излучений необходимо использовать стационарную базовую станцию (БС) 9. Она работает в непрерывном режиме и данные ее измерений могут передаваться на схему совмещения сигналов 6 посредством дополнительного вспомогательного радиоканала (ВРК). Для его организации требуется преобразование измеренной информации от приемника 11 БС в радиокосебание с несущей частотой, отличающейся от несущей сигнала удаленной станции. Для этого используется модулятор 12 и генератор 13, формирующий колебание несущей частоты f_b . Далее, по радиолинии 14–15–16–17, сигнал БС поступает на блок совмещения информации 6. В блоке 6 производится сравнение сигналов измерительного приемника и БС.

РТКПУ с использованием стационарных передатчиков. При реализации способа выражение (7) упрощается и принимает вид

$$F[S(t)] = \sum_{j=1}^{\beta} S_{C_j}(G_j, R_j, T_j) + \sum_{n=1}^{\eta} Y_n(t). \quad (9)$$

Выражение не учитывает естественные излучения УВЗ. Из (9) следует, что лишь сигнал стационарного передатчика подвержен влиянию подстилающей среды.

Структурная схема РТКПУ помимо приемного блока в общем случае содержит набор стационарных передатчиков, обеспечивающих формирование необходимого электромагнитного поля с заданными частотой, мощностью и модуляцией.

РТКПУ с использованием передатчиков подсвета. При реализации способа выражение (7) упрощается и принимает вид

$$F[S(t)] = \sum_{m=1}^{\rho} S_{\Pi m}(G_m, R_m, T_m) + \sum_{n=1}^{\eta} Y_n(t). \quad (10)$$

Передатчик подсвета работает в ближней зоне измерительного приемника. В выражении не учтено влияние излучений УВЗ. Предполагается, что измерительный приемник настроен только на частоту передатчика подсвета.

Структурная схема РТКПУ содержит измерительный приемник с радионавигационной системой – блок 1, а также передатчик подсвета 11 с антенной 10 (рис. 4). Передатчик формирует непрерывное излучение с фиксированной частотой f_{Π} и средней мощностью P_{Π} . Передатчиков может быть несколько ($\rho > 1$).

Расстояние между измерительным приемником и передатчиком подсвета Y_{Π} может изменяться или быть фиксированным. Структура комплекса в этом случае определяется методом электроразведки [3]: измерение расстояния между передатчиком подсвета и приемником или регистрация повышения уровня излучения при фиксированном разnose между приемником и передатчиком подсвета.

Заключение

При реализации способа электроразведки следует учитывать зоны действия антенн. К этому вопросу необходимо подходить дифференцированно в зависимости от диапазона частот, используемого для реализации способа электроразведки.

С энергетической точки зрения привлекательными являются пассивный и полуактивный способы структурного построения комплексов, не требующих затрат на формирование электромагнитного поля. Однако при пассивном способе соотношение уровней фоновых шумов (помех) и естественного излучения предъявляет повышенные требования к радиоприемным устройствам. При реализации полуактивного варианта необходимо создавать дополнительные (базовые) измерительные контрольные станции для исключения замираний и других пространственно-временных коллизий сформированных полей удаленных станций.

Исследования процесса взаимодействия ЭМВ и УВЗ свидетельствуют о необходимости создания ограниченных уровней мощности передатчиков подсвета в ближней зоне приемной антенны, когда ее размеры существенно меньше длины излучаемой волны. Это позволяет создавать мобильные и носимые комплексы, позволяющие сокращать время аттестации геологических профилей. Вместе с этим в настоящее время существуют ограничения на

скорость перемещения комплексов, обусловленные быстрым действием микроконтроллеров, осуществляющих обработку результатов измерений.

BASICS OF DESIGN OF RADIOSYSTEMS FOR DEFINING AND MONITORING OF HYDROCARBON DEPOSITS

D.V. GOLOLOBOV

Abstract

The features of structural construction of radio system providing specified quality requirements for assessment of anomalous behavior of the electromagnetic field with the problem of defining and monitoring of surface manifestations of hydrocarbon deposits in the background of heterogeneous and polyphase environment are considered.

Список литературы

1. *Гололобов Д.В.* // Докл. БГУИР. 2011. № 6 (60). С. 62–67.
2. *Гололобов Д.В.* // Вестн. Воен. акад. РБ. 2011. № 4. С. 132–137.
3. *Гололобов Д.В.* Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей. Минск, 2009.

Библиотека БГУИР