

УДК 621.317.441

И.Б. Широков, доцент, канд. техн. наук**М.А. Дурманов, аспирант***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, СевНТУ, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: shirokov@stel.sebastopol.ua***ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА ЛЮДЕЙ ПОД ЗАВАЛАМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОНИКАЮЩИХ СВОЙСТВ
ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ**

Рассмотрены принципы построения системы поиска людей под завалами горных пород. Метод поиска основан на индукционной связи между магнитными антеннами радиомаяка и поискового устройства. Использование данного метода позволяет добиться требуемой дальности поиска в условиях плохого распространения радиоволн и определить координаты объекта поиска с необходимой точностью.

Ключевые слова: магнитное поле, магнитная антенна, ЭДС, индукция, поиск, шахта.

Вопрос безопасности условий работы является наиболее насущным, особенно, когда речь идет о горной промышленности. Опасность работы в горнодобывающих шахтах связана с возможностью обвалов, которые, как правило, вызываются взрывом газа. На сегодняшний день нет возможности предотвратить взрывы и обвалы, так как внезапность взрыва в шахтах может быть обусловлена выделением газа (метана), а также наличием взрывчатой угольной пыли.

При подземных авариях в шахтах, которые сопровождаются обвалами горных пород, очень часто возникает ситуация, когда подземный персонал шахты сосредотачивается в пределах изолированных участков выработок за завалами или попадает непосредственно в завалы пород. В этих условиях эффективность работ по ликвидации последствий подземных аварий могла бы быть существенно повышена, если бы в распоряжении горноспасательных подразделений находились поисково-информационные средства для осуществления контакта с потерпевшими за завалами и для определения места расположения людей, которые попали непосредственно в зону завалов. Средства определения локализации потерпевших в завалах содействовали бы спасению жизни многим из них, а также снижению экономических затрат связанных с ликвидацией последствий подземных аварий.

В настоящее время существуют средства поиска людей под завалами, но их работа значительно осложнена наличием горных пород на пути распространения радиоволн. Это приводит к значительным потерям энергии сигнала от передатчика. Поэтому дальность обнаружения объектов поиска существенно ограничена.

Целью данной статьи является анализ построения системы для поиска пострадавших в результате аварий на горнодобывающих шахтах. Разрабатываемая поисковая система обеспечивает требуемую дальность обнаружения и способна локализовать каждого человека из рабочего персонала, находящегося в потенциально опасной зоне или под завалом.

Рассматриваемая поисковая система работает в длинноволновом диапазоне. На сегодняшний день длинные волны (ДВ) используются для связи с погруженными подводными лодками и для подземной радиосвязи, так как они могут проникать в воду и горную породу на десятки метров. В этом диапазоне радиоволн для всех видов земной поверхности ток проводимости существенно преобладают над током смещения, благодаря чему при распространении поверхностной волны происходит лишь незначительное поглощение энергии. Важным свойством длинных волн является то, что такие сигналы не испытывают чрезмерного поглощения энергии электромагнитного поля проводящим слоем пород.

Поисковая система представляет собой радиолокационную систему с активным ответчиком. Пассивный ответчик не обладает необходимой энергетикой в условиях сильного затухания электромагнитного поля. Активный же приемопередатчик на выходе дает мощный сигнал, необходимый для обеспечения требуемой дальности связи [1]. Приемопередатчик или «маячок» размещается непосредственно на объекте поиска. Для идентификации объекта «маячок» формирует сигнал с уникальной частотой. Для одновременного приема сигналов от нескольких «маячков», их частоты должны быть отличными друг от друга. Питание «маячка» осуществляется от аккумулятора шахтерского фонаря. Не исключено автономное питание «маячка» с периодической подзарядкой от основного аккумулятора, так как может возникнуть ситуация, когда аккумулятор фонаря полностью разрядится.

Поисковая система включает в себя несколько «маячков» по числу шахтеров, работающих в забое и три поисковых устройств, которые осуществляют поиск по принятым сигналам от «маячков». Каждое поисковое устройство производит селекцию принятых сигналов по частоте, а по уровню этих сигналов

определяет дальность до объекта поиска. Зная три расстояния до объекта поиска, измеренные из трех разных точек и решив тригонометрическую задачу, можно определить координаты каждого радиомаяка.

Поисковая система работает следующим образом. Поисковое устройство генерирует короткий импульс большой мощности, который принимается магнитной антенной «маячка», далее усиливается и активизирует приемоответчик. Каждый «маячок» периодически, в течение определенного времени генерирует и излучает в пространство свой уникальный сигнал. Этот сигнал принимается антенной катушкой поискового устройства, которая настраивается на максимум принимаемого сигнала путем поворота ее в азимутальной плоскости. Принятый сигнал является результатом действия исключительно магнитных сил и численно равен ЭДС индукции, наведенной в приемной катушке. По уровню этого сигнала можно судить о расстоянии до объекта поиска. Зная расстояния от «маячка» до каждого поискового устройства можно определить координаты его нахождения под завалом [2].

«Маячок» представляет собой приемопередатчик, который по принятому сигналу запроса от поискового устройства формирует и передает гармонический низкочастотный сигнал, по уровню которого на приемной стороне определяется его местоположение.

Исходя из выполняемых задач, «маячок» имеет магнитную антенну, обоснование применения которой представлено в предыдущих разделах; приемный и передающий тракт; а также устройство управления в виде микроконтроллера (МК). Необходимость применения МК для обработки сигналов приемной части (ПЧ) «маячка» и управления передающей частью (ПДЧ) объясняется достаточной сложностью выполняемых им логических функций.

Принцип действия «маячка» представлен структурной схемой на рисунке 1.

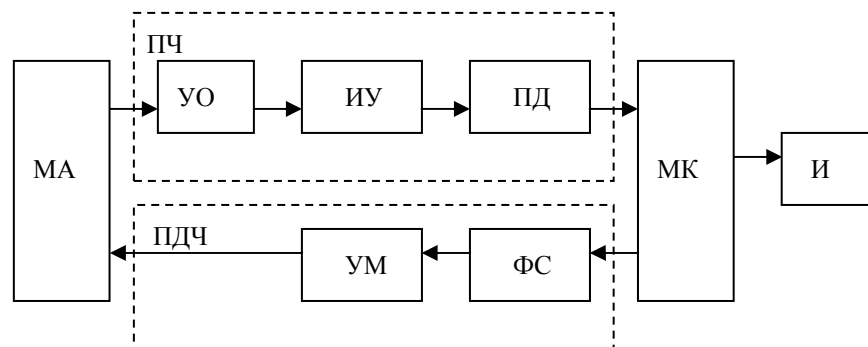


Рисунок 1 – Структурная схема «маячка»

«Маячок» включает в себя: магнитную антенну МА, устройство ограничения УО, избирательный усилитель ИУ, пороговый детектор ПД, микроконтроллер МК, формирователь сигнала ФС и усилитель мощности УМ. И — индикатор.

Сигнал поискового устройства, принятый магнитной антенной, поступает через устройство ограничения на интегральный усилитель, в котором усиливается до необходимого уровня. Пороговый детектор срабатывает на этот сигнал и формирует управляющий сигнал для микроконтроллера. Получив команду от порогового детектора, микроконтроллер включает формирователь сигнала, который генерирует сигнал определенной частоты. Этот сигнал усиливается усилителем мощности и поступает на вход магнитной антенны. Устройство ограничения необходимо для того, чтобы излучаемый сигнал антенной «маячка» не попадал обратно на вход «маячка». Индикатор предназначен для оповещения шахтеров о том, что их ищут.

Упрощенная структурная схема поискового устройства изображена на рисунке 2.

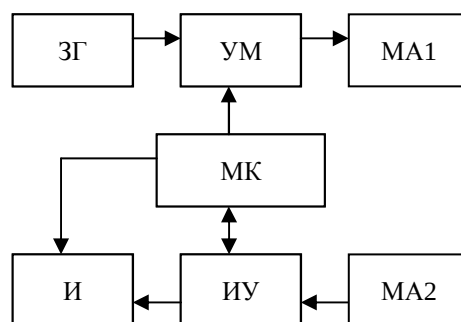


Рисунок 2 – Структурная схема поискового устройства

Поисковое устройство состоит из следующих блоков: ЗГ — задающий генератор, УМ — усилитель мощности, МА1 — магнитная антенна, предназначенная для излучения пускового импульса. МК — микроконтроллер, ИУ — избирательный усилитель, И — индикаторное устройство и МА2 — магнитная антенна, предназначенная для приема сигнала от «маячка».

Задающий генератор формирует зондирующий радиочастотный импульс. В усилителе мощности этот сигнал усиливается до нужного уровня. В МА1 этот сигнал создает магнитное поле, которое воздействует на «маячок». По полученному сигналу «маячок» генерирует ответный сигнал, который принимается МА2. Принятый сигнал усиливается в ИУ и анализируется с помощью микроконтроллера. Результаты обработки и вычисления выводятся на индикатор.

Антенна «маячка», как и антенна поискового устройства, представляет собой катушку с ферритовым сердечником. В технической литературе такие антенны принято называть магнитными ферритовыми антеннами, и они относятся к классу рамочных антенн. Так как дальность связи ограничивается ста метрами, а рабочая длина волны составляет несколько километров, то можно считать рабочую дистанцию поисковой системы ближней или индуктивной зоной излучения антенны. В ближней зоне излучения передающей антенны всегда преобладает магнитная компонента электромагнитного поля, и которая не претерпевает существенного затухания в горных породах, поэтому наиболее удачным является применение именно этого класса антенн в качестве передающих. С другой стороны, магнитные антенны более восприимчивы к переменному магнитному полю. Электрическая составляющая поля в ближней зоне мала и к тому же ослаблена проводящим слоем горных пород, поэтому при зондировании переменного магнитного поля ею можно пренебречь. Это объясняет использование магнитных ферритовых антенн в качестве принимающих.

Рассмотрим физические процессы, которые происходят при работе поисковой системы. Катушка «маячка» возбуждается переменным током низкой частоты. В результате этого, вокруг нее возникает переменное магнитное поле. Магнитный поток, меняющийся во времени, пронизывает приемную катушку. Благодаря свойствам электромагнитной индукции в приемной катушке возникает ЭДС индукции, которая по закону Фарадея равна скорости изменения магнитного потока, сцепленного с контуром:

$$E = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Как известно электроны в неподвижной катушке могут приводиться в движение только электрическим полем. Работа этого поля при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому контуру равна ЭДС индукции в неподвижном проводнике. Причиной возникновения вихревого поля является исключительно переменное магнитное поле, поэтому в нашем случае имеется только индукционный источник, а сторонние силы отсутствуют.

Вихревое магнитное поле, создаваемое передающей катушкой, убывает по своей интенсивности обратно-пропорционально кубу расстояния. От величины индукции магнитного поля в точке приема будет зависеть значение ЭДС индукции в приемном контуре. Также значение ЭДС зависит от взаимного расположения приемной и передающей катушек [3].

Ферритовой сердечник внутри катушки позволяет существенно увеличить магнитный поток в направлении оси катушки. Поэтому при соосном ориентировании приемной и передающей катушек можно добиться максимального сигнала на входе приемника.

Положение магнитной катушки «маячка» в пространстве является произвольным, так как сам «маячок» находится у шахтера, которого необходимо отыскать. Поэтому во время проведения операции поиска невозможно знать взаимное расположение катушек «маячка» и поискового устройства. Катушка поискового устройства является подвижной, и, вращая ее, можно настроиться на максимальный принимаемый сигнал. При этом положение катушки поискового устройства будет соответствовать некоторому положению, отличному от соосного взаимного расположения катушек. При таком положении приемной и передающей катушек уровень принимаемого сигнала будет отличаться от максимального уровня. Однако при настройке на максимум эти отличия не значительны при заданной точности определения дальности.

Экспериментальным путем была определена зависимость уровня принимаемого сигнала поисковым устройством от расстояния до «маячка». Эксперимент был проведен на открытом воздухе и вдали от промышленных объектов. В связи с этим было исключено влияние индустриальных шумов, паразитных полей и других факторов, отрицательно влияющих на точность полученных результатов. Впоследствии был проведен эксперимент внутри шахты под землей, при котором наблюдался уверенный прием сигнала от «маячка» и дал близкие результаты в сравнении с результатами, приведенными на рисунке 3.

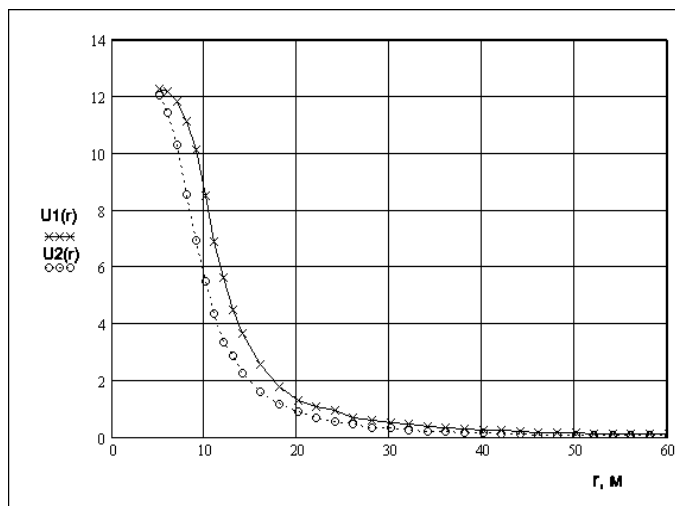


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости уровня принимаемого сигнала от расстояния:

$$\begin{aligned} U_1(r) & \text{---} \text{ при соосном расположении катушек;} \\ U_2(r) & \text{---} \text{ при вертикальном положении осей катушек} \end{aligned}$$

Из графиков (рисунок 3) видно, что характер их поведения имеет вид функции $\frac{1}{x^3}$, где x – расстояние до передатчика. На малых дальностях – менее 5 м, наблюдается эффект насыщения, вызванный нелинейностью усилителя приемного устройства. Также видно, что погрешность измерения дальности уменьшается с уменьшением расстояния.

В данной работе представлен метод определения дальности при проведении поисково-спасательных операций и принцип определения местоположения объектов поиска. Для определения координат объекта поиска и направления поиска необходимо использовать три поисковых устройства, разнесенных на определенное расстояние. Каждое поисковое устройство определяет расстояния до «маячка» и, решая, таким образом, тригонометрическую задачу, находим направление поиска и координаты объекта поиска.

В дальнейшем, планируется провести исследования, направленные на определение влияния металлических конструкций на точность измерения дальности. А также разработать метод, который при помощи дополнительных итераций позволит уточнять результаты измерений.

Бibliографический список

1. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д. Ширмана. — М.: Сов. радио, 1970. — 559 с.
2. Широков И.Б. Метод поиска пострадавших при стихийных бедствиях / И.Б. Широков, А.Н. Демерза // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2004): материалы 14-ой междунар. Крым. конф., [Севастополь, 13 – 17 сент. 2004 г.]. — Севастополь: Вебер, 2004. — С. 713–714.
3. Макаров А.М. Основы электромагнетизма. Физика в техническом университете. Том 3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom3/content.htm> Monday, 14 January 2008 16:00.

Поступила в редакцию 20.03.2008 г.