

УДК 621.658.012.531

А.В. Троицкий, ст. преподаватель, канд. техн. наук,

С.Ю. Коваленко, студент

М.С. Козуб, студент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevtu.sebastopol.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНФОРМНОЙ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ АВАРИЙНОГО РАДИОБУЯ

Представлены исследования характеристик двухзаходной полусферической спиральной антенны с учетом реальных условий эксплуатации в качестве антенны аварийного радиобуя.

Ключевые слова: ГМССБ, аварийный радиобуй, полусферическая спиральная антенна, проводящий экран, сопротивление нагрузки, диаграмма направленности, коэффициент эллиптичности.

Для оказания помощи в аварийных ситуациях в мировом океане и обеспечения безопасности судоходства применяется глобальная морская система связи — ГМССБ [1]. На ее основе обеспечивается радиосвязь с морскими судами в случае бедствия, для обеспечения безопасности мореплавания, а также в служебных целях.

Одной из основных задач данной системы в случае аварийных ситуаций является оповещение о бедствии и координатах радиобуев, установленных на судах и самолётах. Важным элементом наземного сегмента таких систем является аварийный радиобуй (АРБ).

Аварийный радиобуй — терминал, включающий антенну и передатчик для подачи сигнала бедствия и пеленгации поисково-спасательными силами терпящих бедствие плавсредств, летательных аппаратов на суше и на море. АРБ представляют собой свободно всплывающие буи, передающие сигналы бедствия для поисково-спасательных служб.

Поскольку от надежности работы такого устройства напрямую зависят жизнь и здоровье людей, разработчики стремятся создать стабильную и устойчивую систему и обеспечить надежность канала связи. Различные дестабилизирующие факторы, такие как полупроводящая поверхность и волнение моря, флуктуации спутника на орбите не должны влиять на работу АРБ и канала связи. В связи с этим разработка антенных устройств таких терминалов имеет свою специфику. ВАРБданных систем используются слабонаправленные антенны различных конструкций (штыревые, цилиндрические и конические спиральные).

Серьезным недостатком радиобуёв, использующих штыревые антенны, является большой продольный размер устройства. Поскольку использование АРБ осуществляется во время аварийных ситуаций, которые, как правило, могут быть вызваны стихийными бедствиями, штормами, ураганами, то конструкция должна обладать значительной прочностью, которую не всегда возможно обеспечить. В условиях непогоды в открытом море аварийный радиобуй со значительным продольным размером может быть подвержен существенным колебаниям на морской поверхности, вызывающим потерю связи со спутником, что может существенно увеличить время обнаружения объекта, терпящего бедствие. Этот факт является недопустимым с точки зрения работы системы. Поэтому, предпочтительно использовать излучатели, выполненные в корпусе буя или размещенные на его поверхности (конформные), поскольку они не снижают надежность работы устройства.

Кроме этого, качание антенны АРБ на волнах морской поверхности также затрудняет использование линейной поляризации, поскольку для передачи сигнала важно положение плоскости поляризации передающей и приёмной антенн.

Таким образом, возникает необходимость разработки антенн с круговой поляризацией излучения, выполненных в корпусе устройства. В результате перемещение космического аппарата и колебания наземного терминала не вызовут замирания сигнала между ними за счет кроссполяризационного эффекта.

Целью данной работы является разработка макета полусферической спиральной антенны с учетом реальных условий эксплуатации. Антенна должна обладать квазиизотропной диаграммой направленности в верхнем полупространстве и круговой поляризацией излучения в пределах главного лепестка диаграммы направленности.

Спиральная антенна, расположенная на полусферической поверхности, как и большинство спиральных антенн, имеет слабую направленность в верхнем полупространстве и эллиптическую поляризацию излучения [2].

Необходимые характеристики излучения данной структуры можно получить благодаря изменению числа заходов спирали, управлению амплитудно-фазовым распределением тока в заходах, изменению числа витков, шага намотки спирали. Так, меняя геометрическую конфигурацию заходов, их число, а также амплитудно-фазовое распределение, можно изменять форму диаграммы направленности структуры. Увеличение же числа витков спирали приводит к сужению диаграммы направленности и к уменьшению уровня бокового излучения.

При использовании данной антенны в портативных терминалах подвижных служб связи, полусферический спиральный излучатель, в отличие от штыревых антенн, может быть выполнен в корпусе устройства. Кроме этого, основную аппаратуру (передатчик, аккумулятор) можно поместить внутрь излучающей структуры. В этом случае центр тяжести устройства станет ниже. Все это позволит избежать значительных колебаний АРБ на морской поверхности в случае сильного волнения моря. В результате, существенно улучшаются прочность конструкции и надежность работы, что имеет первостепенное значение для аварийного радиоканала. На рисунке 1 изображен общий вид аварийного радиобуя с разрабатываемой конформной полусферической антенной и типового радиобуя, использующего штыревую антенну системы КОСПАС-САРСАТ. Как показано на рисунке, за счет использования нового вида антенны, происходит существенное уменьшение продольного размера радиобуя.

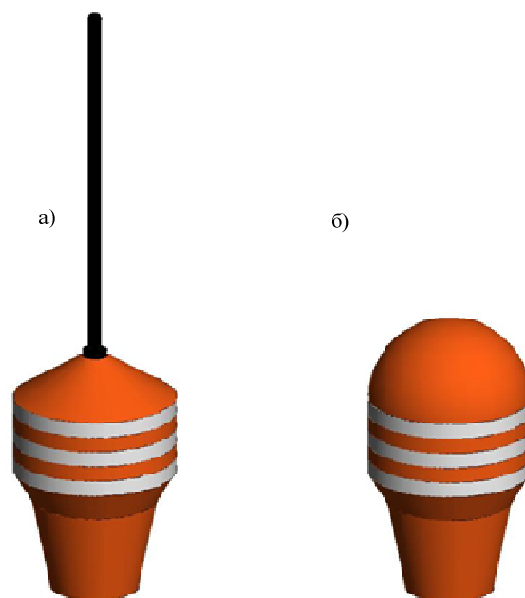


Рисунок 1 — Аварийные радиобуи
а — со штыревой антенной; б — полусферической спиральной антенной

Для решения поставленной задачи были рассмотрены различные варианты исполнения антенной структуры. Исследование проведено в программном пакете моделирования электродинамических структур *FEKO 5.5*. В качестве исходной принята модель двухзаходной полусферической спиральной антенны, находящейся в свободном пространстве (ПСА 1), как показано на рисунке 2, а. Радиус полусферической поверхности выбран равный 12 см, при котором резонансная частота наибольшего токового кольца составляет 406 МГц (рабочая частота АРБ системы КОСПАС-САРСАТ). Число витков принято равным трем для обеспечения требуемой слабой направленности в верхнем полупространстве. Возбуждение заходов выполнено противофазно в вершине полусферы.

Расчет поля излучения антенны в дальней зоне был проведен методом векторного потенциала [3].

Результаты исследования полученных характеристик приведены в таблице 1. Ширина диаграммы направленности (ДН) для составляющих поля излучения E_θ и E_ϕ в дальней зоне по уровню -3 дБ составила около $(80...110)$ градусов на частоте 400 МГц и с ростом частоты изменяется незначительно. Значения коэффициента эллиптичности (КЭ) не превышают 0,7 в пределах ширины диаграммы направленности. Таким образом, данная структура не обеспечивает круговой поляризации излучения ($КЭ = 0,9...1$). Присутствует излучение как в прямом, так и обратном направлениях.

Учитывая условия эксплуатации, возникает необходимость дополнения этой модели. Проводящая морская поверхность непосредственно под антенной при её использовании в буях систем ГМССБ была учтена при помощи плоского идеально проводящего экрана конечных размеров, как изображено на рисунке 2, б. При моделировании диаметр экрана был принят равным 1 м, поскольку его дальнейшее увеличение не оказывало существенного влияния на форму диаграммы направленности антенны. Для исследования входных характеристик в этом случае был использован метод моментов [4].

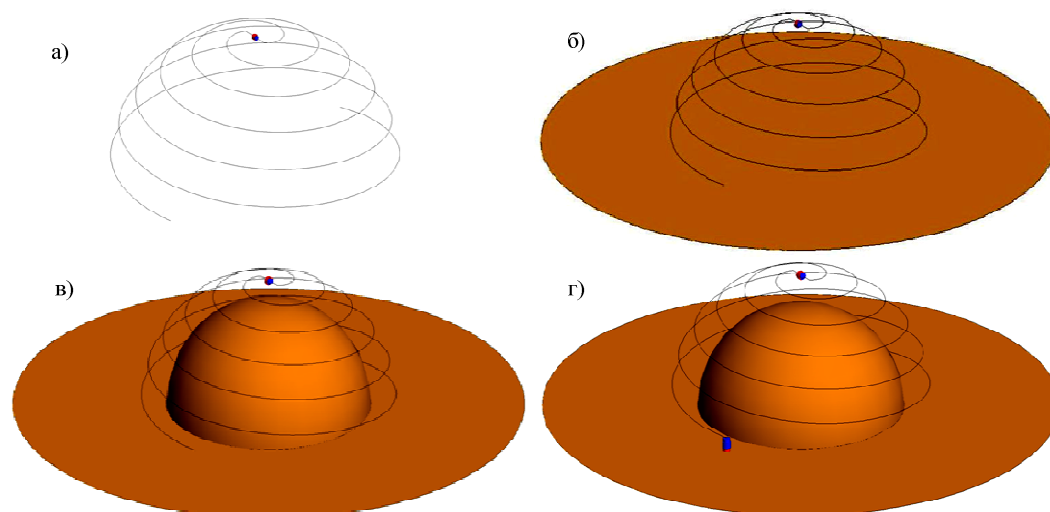


Рисунок 2 — Модель двухзаходной полусферической спиральной антенны
 а — в свободном пространстве (ПСА 1); б — над плоским проводящим экраном (ПСА 2);
 в — над комбинированным экраном (ПСА 3); г — над комбинированным экраном с нагрузкой (ПСА 4)

Необходимо отметить, что для этой модели антенны (ПСА 2) характеристики направленности сохраняются во всем диапазоне частот и ширина диаграммы направленности в верхнем полупространстве по уровню -3 дБ изменяется в пределах (64...82) град. Коэффициент эллиптичности при этом сложным образом зависит от частоты и его значение по модулю не превышает 0,6. При этом существенно уменьшается уровень заднего излучения до величины порядка -20 дБ.

Таблица 1 — Характеристики исследованных моделей антенн

	f , МГц	Ширина ДН по уровню -3 дБ, град				Уровень заднего излучения, дБ		КЭ
		XOZ		YOZ				
		E_0	E_ϕ	E_0	E_ϕ	E_0	E_ϕ	
ПСА 1	400	80	100	87	110	-6	-5	0,7
	500	83	90	91	90	-4	-5	0,6
	700	100	85	105	115	0	0	0,65
ПСА 2	400	64	70	65	80	-19	-25	0,6
	500	65	72	66	82	-18	-26	0,51
	700	80	90	75	95	-16	-22	0,4
ПСА 3	400	60	78	55	85	-9	-12	0,48
	500	58	115	60	120	-8	-8	0,44
	700	62	120	65	120	-8	-7	0,19
ПСА 4	400	66	68	60	78	-15	-15	0,92
	500	58	88	60	78	-12	-12	0,96
	700	90	88	120	130	-9	-2	0,98

Важным достоинством излучателя полусферической формы является возможность расположения различной аппаратуры (например, передатчика, аккумулятора) внутри корпуса излучателя. Но в этом случае, размещенная аппаратура будет существенно влиять на характеристики антенны. Поэтому аппаратуру помещают в экранированный отсек, который при моделировании может быть представлен комбинированным экраном, содержащим плоскую и полусферическую поверхности, как показано на рисунке 2, в.

Габариты отсека определяются размером полусферической части комбинированного экрана. Методом последовательного приближения был найден максимально допустимый радиус полусферического экрана, который составил 10 см. При превышении этого значения интенсивность излучения заметно снижается, а характеристики антенны определяются, главным образом, микрополосковой линией передачи, образованной спиральным проводником и полусферическим экраном.

Подробный анализ характеристик направленности для антенны с радиусом полусферического экрана 10 см (ПСА 3) позволил установить следующее. Поле излучения двухзаходной полусферической спиральной антенны в дальней зоне обладает эллиптической поляризацией со значениями модуля коэффициента эллиптичности в пределах ширины диаграммы направленности не более 0,5, как показано на рисунке 3, а. Форма диаграммы направленности в диапазоне рабочих частот (400...500) МГц не искажена. Ширина диаграммы направленности по уровню -3 дБ имеет значения (55...120) град. Уровень заднего излучения составляет около -8 дБ.

Наличие проводящей поверхности непосредственно под антенной приводит к накоплению реактивной энергии в антенне [4]. В результате этого распределение тока вдоль проводников спирали приобретает резонансный характер. Во входном сопротивлении антенны преобладает реактивная составляющая. Для предотвращения этого эффекта концы спирали нагружаются на активное сопротивление. В результате обеспечивается согласование входного сопротивления антенны с фидером и характеристики структуры существенно улучшаются. При этом мощность излучения изменяется незначительно, поскольку подключение сопротивления нагрузки осуществляется к концам спиральных излучателей, где амплитуда тока существенно меньше относительно входного тока.

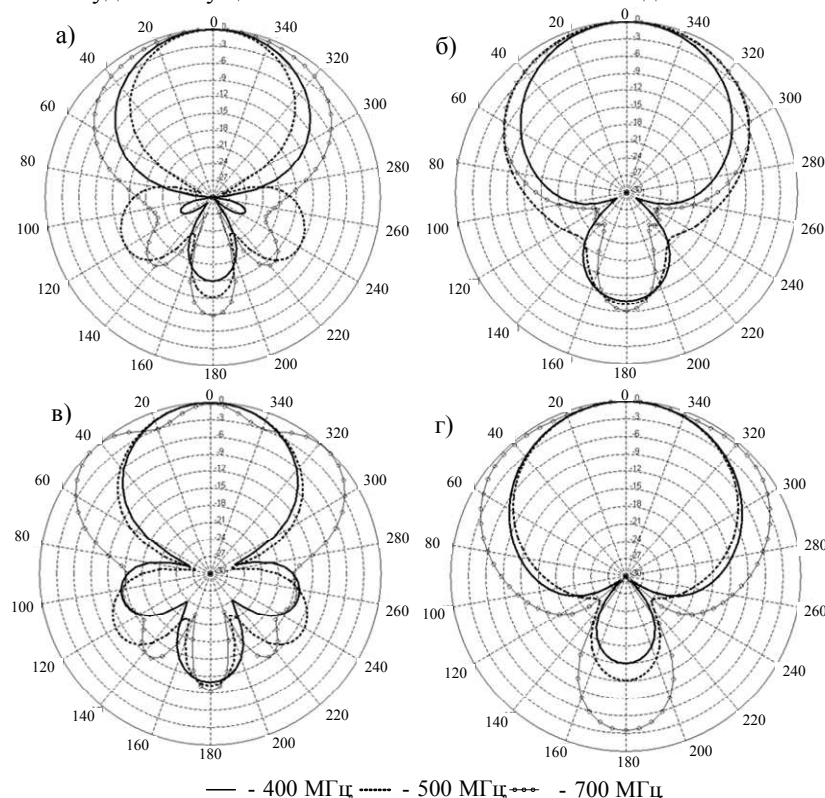


Рисунок 3 — Амплитудные ДН при расположении антенны с нагрузкой над комбинированным экраном для составляющей E_θ в плоскостях XOZ и YOZ (а, в) и составляющей E_ϕ в плоскостях XOZ и YOZ (б, г)

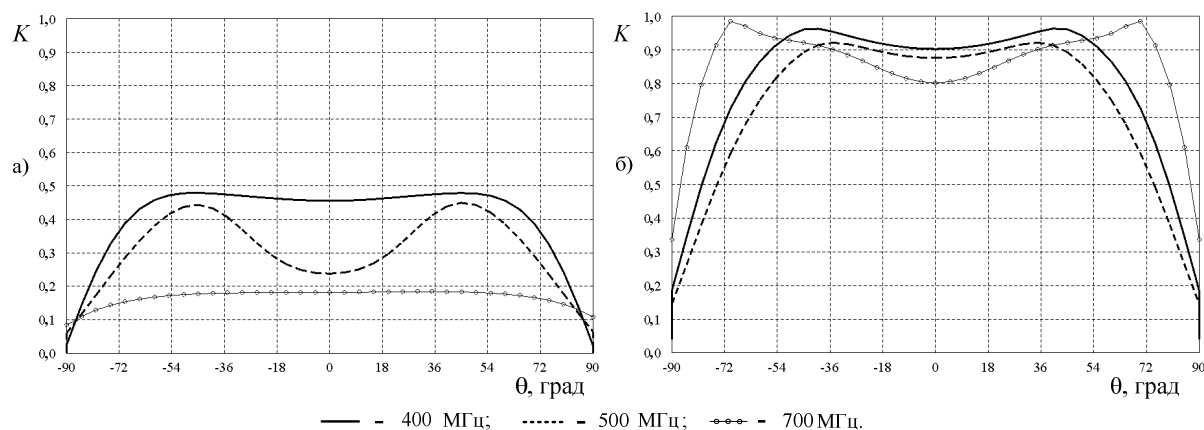


Рисунок 4 — Зависимость коэффициента эллиптичности (K) от угла наблюдения
а — для модели ПСА 3; б — для модели ПСА 4

Была рассмотрена модель, в которой двухзаходная полусферическая спиральная антенна подключена к сложному комбинированному экрану через активные сопротивления (ПСА 4), как показано на рисунке 2, г. В результате компьютерного моделирования было найдено, что наилучшее согласование обеспечивается при подключении нагрузки номиналом 250 Ом к каждому концу спирали. Реактивная составляющая входного сопротивления антенны уменьшается в рабочем диапазоне частот. Активная составляющая сопротивления при этом изменяется незначительно. В связи с этим коэффициент эллиптичности, изображенный на рисунке 4, б, в рабочем диапазоне частот по модулю достигает значения 0,96 в пределах ширины диаграммы направленности. Ширина ДН в диапазоне (400...500) МГц составляет (58...78) град и с ростом частоты увеличивается, как изображено на рисунке 3. На рабочей частоте уровень заднего излучения имеет значение -15 дБ и уменьшается с ростом частоты.

Основополагающими параметрами при разработке и тестировании систем ГМССБ являются надежность и стабильность работы аварийных устройств. Как показывает практика, самым ненадежным элементом в конструкции аварийных радиобуев является антенное устройство [5]. Аварийные буи с различными видами штыревых антенн, а также с наличием устройств автоматического выдвижения антенн могут давать существенные сбои в работе и тем самым значительно увеличивать время поиска объекта.

Рассмотренная полусферическая спиральная антенна благодаря своей форме и малым размерам позволяет существенно улучшить прочность конструкции радиобуя и повысить надежность работы системы.

В проведенных исследованиях были учтены реальные условия эксплуатации антенны аварийного радиобуя, такие как морская поверхность и экранированное радиооборудование. Наличие этих поверхностей неизбежно искажает характеристики антенны. Однако за счет согласования антенны при помощи активного сопротивления в процессе моделирования были получены требуемые направленные и, в первую очередь, поляризационные характеристики в заданном диапазоне частот. Излучение антенной электромагнитной волны с круговой поляризацией повышает энергетический потенциал аварийного канала связи.

Таким образом, разработана модель полусферической двухзаходной спиральной антенны, которая может найти применение в аварийных радиобуях систем ГМССБ. Пути дальнейших исследований являются эксперимент и совершенствование схемы согласования антенны.

Бibliографический список использованной литературы

1. Лукьянчук А.Г. Работа в глобальной морской системе связи: учеб. пособие / А.Г. Лукьянчук, А.В. Мельников. — Севастополь: СевНТУ, 2003. — 172 с.
2. Юрцев О.А. Спиральные антенны / О.А. Юрцев, А.В. Рунов, А.Н. Казарин; под ред. Юрцева О.А. — М.: Советское радио, 1974. — 224 с.
3. Воскресенский Д.И. Устройства и антенны СВЧ / Д.И. Воскресенский, В.Л. Гостюхин, В.М. Максимов; под ред. Воскресенского Д.И. — М.: Радиотехника, 2006. — 376 с.
4. Айзенберг Г.З. Антенны УКВ. В 2-х ч. Ч. 1. / Г.З. Айзенберг. — М.: Связь, 1977. — 384 с.
5. Вершков М.В. Судовые антенны. 5-е изд., перераб. и доп. / М.В. Вершков. — С.-Петербург: Судостроение, 2008. — 312 с.

Поступила в редакцию 30.01.2012 г.

Троїцький А.В., Коваленко С.Ю., Козуб М.С. Дослідження конформної напівсферичної спіральної антени для аварійного радіобуя

Представлені дослідження характеристик двозахідної напівсферичної спіральної антени з урахуванням реальних умов експлуатації як антени аварійного радіобуя.

Ключові слова: ГМССБ, аварійний радіобуй, напівсферична спіральна антена, провідний екран, опір навантаження, діаграма спрямованості, коефіцієнт еліптичності.

Troitsky A.V., Kovalenko S.Y., Kozub M.S. Researching of conformal semisphere helical antenna for emergency position-indicating radio beacon

The article is devoted to researching of characteristics conformal semisphere helical antenna in view of real operating conditions for emergency position-indicating radio beacon.

Keywords: GMDSS, emergency position-indicating radio beacon, semisphere helical antenna, conductive surface, radiation pattern, active load, ellipticity coefficient.