

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.7.6>

УДК: 621.396.673

## ИСКАЖЕНИЯ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ СВ-ДИАПАЗОНА ПРИ ЕЕ РАЗМЕЩЕНИИ НА НОСИТЕЛЕ

К.В. Князева<sup>1</sup>, В.С. Панько<sup>1</sup>, А.А. Ерохин<sup>1</sup>, А.Г. Андреев<sup>1</sup>,  
А.В. Косолапов<sup>2</sup>, С.Б. Нелипа<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет  
660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 28

<sup>2</sup> Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь»  
660021, г. Красноярск, ул. Декабристов, 19

Статья поступила в редакцию 23 апреля 2024 г.

**Аннотация.** Наземные радионавигационные системы повсеместно используются для определения местоположения морских судов. Согласно требованиям движения морского транспорта, любое судно должно иметь дублирующие системы навигации для резервирования в случае непредвиденных ситуаций и потери связи с основными навигационными системами, а также уточнения координат. Важной компонентой любой навигационной системы является приемная антенна. Статья посвящена исследованию влияния объектов, окружающих приемную антенну СВ-диапазона, на ее фазовую характеристику направленности, т.к. от равномерности фазовой характеристики (как по частоте, так и по азимуту) зависит точность радионавигации. В работе показано, что наличие корабельных мачт, надстроек и форма самого носителя может оказывать существенное влияние на точность навигации. Для снижения данного эффекта возможно поднятие приемной антенны над носителем или использование программных средств с применением калибровочных таблиц.

**Ключевые слова:** монополь, фазовая диаграмма направленности, радионавигационная система, средние волны.

**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (номер FSRZ- 2023-0008).

**Автор для переписки:** Ерохин Алексей Александрович, [aerokhin@sfu-kras.ru](mailto:aerokhin@sfu-kras.ru)

## Введение

Несмотря на то, что в настоящее время активно ведутся работы по созданию помехоустойчивой аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем (РНС), такая аппаратура не решает проблему надежности, достоверности и точности определения координат в определенных ситуациях. Во-первых, орбиты спутников существующих навигационных систем расположены таким образом, что в северных широтах и приполярных областях точность этих систем существенно ниже [1]. Во-вторых, воздействие солнечного радиоизлучения может приводить к сбоям в работе аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем. Так, во время мощных солнечных вспышек радиоизлучения 6 и 13 декабря 2006 г. возникли массовые кратковременные сбои в навигационных приемниках по всему миру [2]. В-третьих, возможны сбои в работе самих спутниковых навигационных систем, приводящие к долговременному отсутствию навигационной информации [3].

Указанные проблемы использования спутниковых навигационных систем не могут быть устранены с помощью помехоустойчивой навигационной аппаратуры. В последнее время, при поиске надежных источников навигационной информации для морских потребителей все большее внимание уделяется локальным навигационным системам с наземным расположением передающих станций. Более того, в РФ применение комбинированных каналов приема сигналов, работающих как по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, так и по сигналам наземных систем радионавигации является обязательным требованием Правил по оборудованию морских судов [4].

Аналогичным образом обстоит ситуация за рубежом. Например, несмотря на то, что в 2009 г. в США было принято решение о прекращении функционирования наземной навигационной системы LORAN-C, в 2014 г. вновь

возник вопрос о необходимости резервных систем, предоставляющих навигационную и временную информацию, а в 2018 г. был подписан акт о необходимости создания альтернативной GPS наземной системы [5]. В 2020 году в Великобритании было проведено исследование, посвященное вопросам надежности, целостности и доступности навигационной информации для морских судов [6]. Результатом работы стал вывод о необходимости в резервной навигационной системе, запланировано создание прототипа наземной системы в 2020 г. с последующим его тестированием в течение двух лет. В Республике Корея с 2016 г. ведется разработка наземной навигационной системы [5]. В 2021 году правительством страны объявлено о коммерциализации навигационной системы eLORAN [7]. В Европе пробный проект по использованию морских радиомаяков для задач навигации находится в стадии реализации [8].

Таким образом, задача совершенствования систем радионавигации средневолнового диапазона (1,6 – 2,2 МГц) для обеспечения требуемой точности и функциональности является, как никогда, актуальной.

Одним из компонентов РНС СВ-диапазона является приемная антенна потребителя. Основные требования, предъявляемые к приемным антеннам, размещаемым на кораблях (далее – корабельные антенны), состоят в следующем:

- равномерность частотных характеристик (АЧХ и ГВЗ) в рабочей полосе частот навигационной системы;
- приемлемый уровень коэффициента усиления в направлении на горизонт;
- независимость фазы и задержки принимаемого навигационного сигнала от направления его прихода;
- минимально возможные искажения частотных и пространственных характеристик антенны, возникающие из-за окружающих предметов;
- минимально возможные габариты.

Целью настоящей работы является исследование влияния окружающих антенну предметов на ее радиотехнические характеристики. В качестве значения высоты антенны, приемлемой из практических соображений, в настоящем исследовании использовалась величина 6 м [9].

## 1. Постановка задачи

В данном разделе рассматриваются результаты моделирования различных ситуаций размещения антенны корабельной станции в виде вертикального несимметричного вибратора (монополя) на корабле. При моделировании модель корабля располагалась на подстилающей поверхности со свойствами «морская вода» ( $\epsilon_a = 80$ ,  $\sigma = 4$  См/м). Для модели рассчитывались следующие характеристики:

1) Амплитудные (АДН) и фазовые диаграммы направленности (ФДН) в азимутальной плоскости для угла места  $\theta = 89^\circ$  на частотах 1,6, 1,9 и 2,2 МГц. АДН нормированы каждая к своему максимуму:

$$F(\varphi) = \frac{f(\varphi)}{\max(f(\varphi))}.$$

ФДН нормируются к максимальному значению, найденному среди трех частот:

$$\Phi(\varphi) = \phi(\varphi) - \max(\phi_{1.6 \text{ МГц}}(\varphi), \phi_{1.9 \text{ МГц}}(\varphi), \phi_{2.2 \text{ МГц}}(\varphi)).$$

2) ГВЗ сигнала, приходящего с разных направлений, нормированное к ГВЗ в направлении  $\varphi = 0^\circ$  на частоте 1,9 МГц:

$$\Delta\tau(f, \varphi) = \delta\tau(f, \varphi) - \delta\tau(f = 1.9 \text{ МГц}, \varphi = 0).$$

Для сравнительной оценки полученных результатов далее использованы следующие характеристики.

Неравномерность ФДН по азимуту для определенной частоты  $f$ :

$$\Delta\Phi(f) = \max(\Phi(\varphi, f)) - \min(\Phi(\varphi, f)),$$

$$\varphi = 0 \dots 360^\circ$$

Неравномерность ГВЗ в рабочей полосе частот для определенного азимута:

$$\Delta\tau(\varphi) = \max(\tau(\varphi, f)) - \min(\tau(\varphi, f)),$$

$$f = 1.6 \dots 2.2 \text{ МГц},$$

$$\varphi = \text{const}$$

Неравномерность ГВЗ по азимуту для определенной частоты:

$$\Delta\tau(f) = \max(\tau(\varphi, f)) - \min(\tau(\varphi, f)),$$

$$\varphi = 0 \dots 360^\circ,$$

$$f = \text{const}$$

Найденные значения неравномерности ГВЗ по частоте и азимуту приведены в таблицах ниже. Для выявления зависимостей в таблицах применено трехцветное цветовое окрашивание столбцов с плавным изменением цвета от зеленого (минимальное значение в столбце) через белый (среднее в столбце значение) до красного (максимальное значение). Для каждого столбца таблицы шкала индивидуальная. В таблицах, состоящих из одной строки, окрашивание не применяется. Зависимости АДН не имеют большого значения для оценки ошибок измерения кодовой и фазовой псевдодальности, и поэтому не приводятся.

## 2. Модель «монополь со смещением от центра кубоида»

Внешний вид модели показан на рисунке 1. Модель представляет собой параллелепипед, далее называемый для краткости «кубоидом», с размерами  $100 \times 12 \times 7$  м (длина вдоль оси  $Ox$   $\times$  ширина вдоль оси  $Oy$   $\times$  высота по оси  $Oz$ ), имитирующий носитель антенны – корабль. На верхней грани кубоида размещен монополь высотой 6 м, электрически соединенный с кубоидом. Здесь и далее начало координат находится на нижней грани кубоида под точкой подключения монополя, направление оси  $Ox$  совпадает с  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , оси  $Oy$  – с  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ .

Переменной величиной является смещение центра корабля от начала координат  $X_{ship}$ , т.е., по сути, смещение монополя от центра корабля к его торцу. Для корректности расчета фазовой ДН антенну всегда необходимо устанавливать в начало координат, поэтому производится смещение не монополя, а корабля. При  $X_{ship} = 0$  точка подключения монополя и центр корабля имеют координаты  $x = 0$ ,  $y = 0$ .

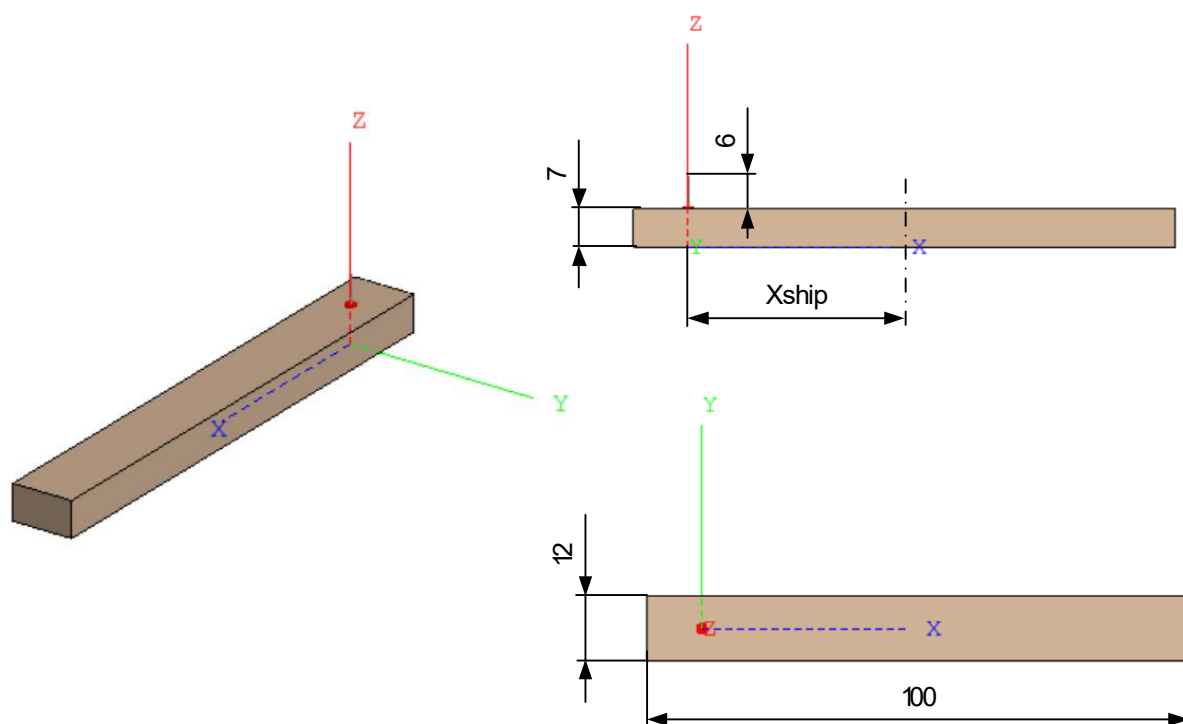


Рис. 1. Модель «монополь со смещением от центра кубоида».

Таблица 1. Монополь со смещением от центра кубоида.

$X_{ship},$ м	$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
0	9,19	7,05	3,22	7,05	9,19	19,14	26,96	31,54
10	10,41	3,47	2,76	5,22	3,28	22,76	27,85	27,94
20	4,01	2,05	1,54	3,64	11,32	22,49	22,57	19,38
30	2,36	5,62	0,25	9,90	15,34	17,57	16,41	14,66
40	3,93	5,91	1,37	14,39	11,07	11,19	10,62	10,00
50	2,19	4,35	1,85	13,83	6,11	18,62	23,85	23,66

### 3. Модель «монополь с паразитным монополем на кубоиде»

Внешний вид модели показан на рисунке 2. Размеры кубоида совпадают с предыдущей моделью, монополь размещен в центре корабля. Дополнительно добавлен «паразитный» монополь высотой  $h_{2nd}$ , смещенный на расстояние  $X_{whip}$  вдоль оси  $Ox$  от основного монополя.

Моделирование проведено для всех сочетаний  $h_{2nd} = 6, 12, 24$  м,  $X_{whip} = 1, 3, 5, 7, 9, 11$  м. При изменении  $X_{whip}$  и фиксированном  $h_{2nd}$  полученные результаты отличаются друг от друга незначительно.

Заметное влияние на форму ФДН и ГВЗ проявляется только при большой высоте паразитного монополя  $h_{2nd} = 24$  м.

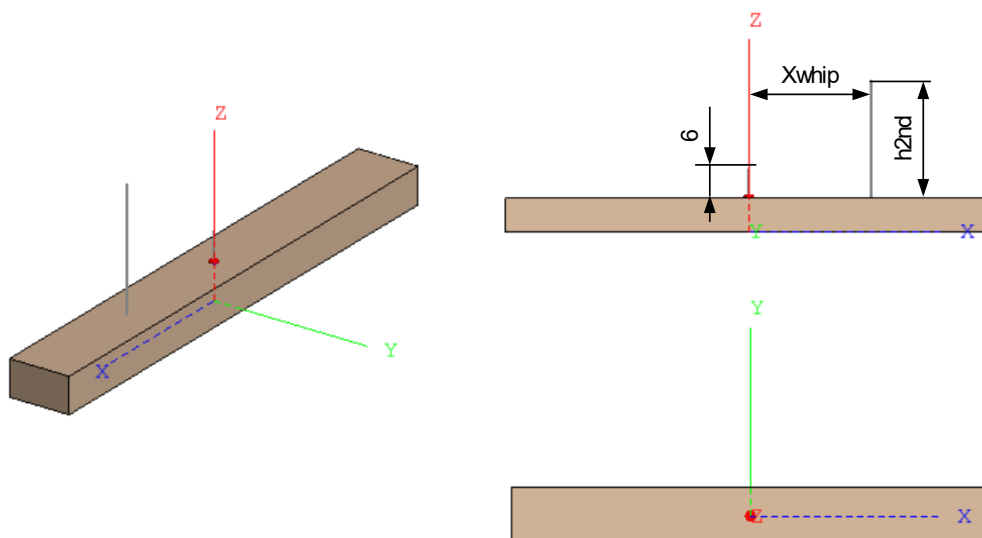


Рис. 2. Модель «монополь с паразитным монополем на кубоиде».

Таблица 2. Монополь с паразитным монополем на кубоиде.

$h_{2nd}$ , м	$X_{whip}$ , м	$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
		0°	45°	90°	135°	180°	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
6	1	9,21	6,95	3,32	6,95	8,95	19,80	27,59	32,06
	3	9,20	6,94	3,34	6,93	8,93	19,76	27,54	32,02
	5	9,19	6,95	3,34	6,92	8,94	19,61	27,40	31,90
	7	9,17	6,95	3,34	6,92	8,98	19,46	27,26	31,78
	9	9,16	6,96	3,34	6,93	9,02	19,36	27,17	31,72
	11	9,15	6,96	3,33	6,95	9,06	19,31	27,13	31,71
12	1	8,31	5,94	4,33	5,95	7,86	20,35	28,14	32,54
	3	8,41	5,96	4,35	5,93	7,76	20,70	28,45	32,80
	5	8,47	6,02	4,34	5,94	7,81	20,58	28,34	32,73
	7	8,52	6,09	4,32	6,00	7,95	20,33	28,11	32,59
	9	8,55	6,15	4,28	6,10	8,16	20,10	27,94	32,54
	11	8,58	6,19	4,24	6,25	8,42	19,94	27,84	32,60
24	1	23,52	25,52	35,48	25,97	24,42	20,37	27,81	31,41
	3	22,64	24,96	35,53	25,90	23,99	21,07	28,56	32,57
	5	21,34	24,00	35,18	24,97	22,26	21,27	29,06	34,15
	7	19,98	23,00	34,66	23,36	19,46	21,30	29,61	36,49
	9	18,66	22,04	33,97	20,96	15,49	21,39	30,46	39,86
	11	17,45	21,15	33,12	17,73	10,37	21,59	31,69	44,36

#### 4. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой»

Внешний вид модели показан на рисунке 3. Модель отличается от рассмотренных выше наличием надстройки с размерами 22 м × 12 м × 10 м, расположенной в центре корабля. На верхней плоскости надстройки размещен монополь высотой 6 м.

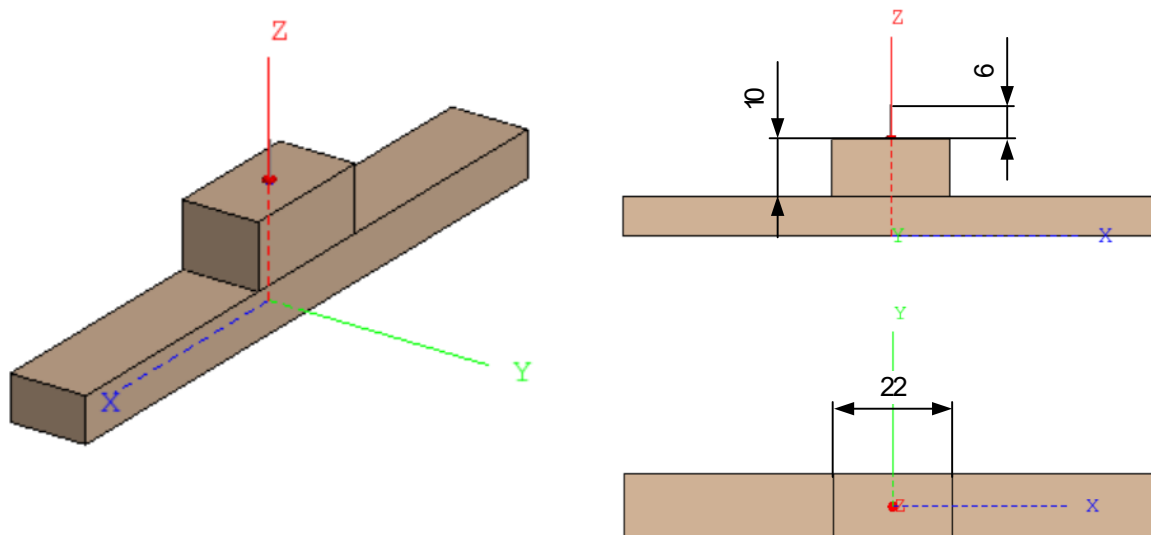


Рис. 3. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой».

Как видно из сравнения таблиц 1 и 3, появление надстройки приводит к существенному увеличению неравномерности ГВЗ в рабочей полосе частот, по сравнению с рассмотренными выше вариантами.

Таблица 3. Монополь на кубоиде с надстройкой.

$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
13,65	17,03	28,01	17,03	13,65	19,80	28,33	34,16

#### 5. Модель «монополь с паразитным монополем на кубоиде с надстройкой»

Внешний вид модели показан на рисунке 4. Дополнительно к предыдущей модели, добавлен паразитный монополь высотой 12 м, также размещенный на надстройке. Размеры надстройки и корабля оставлены без изменения.

Переменной величиной является смещение паразитного монополя от начала координат  $X_{whip}$ , изменяющееся в ходе моделирования от 1 до 11 м.



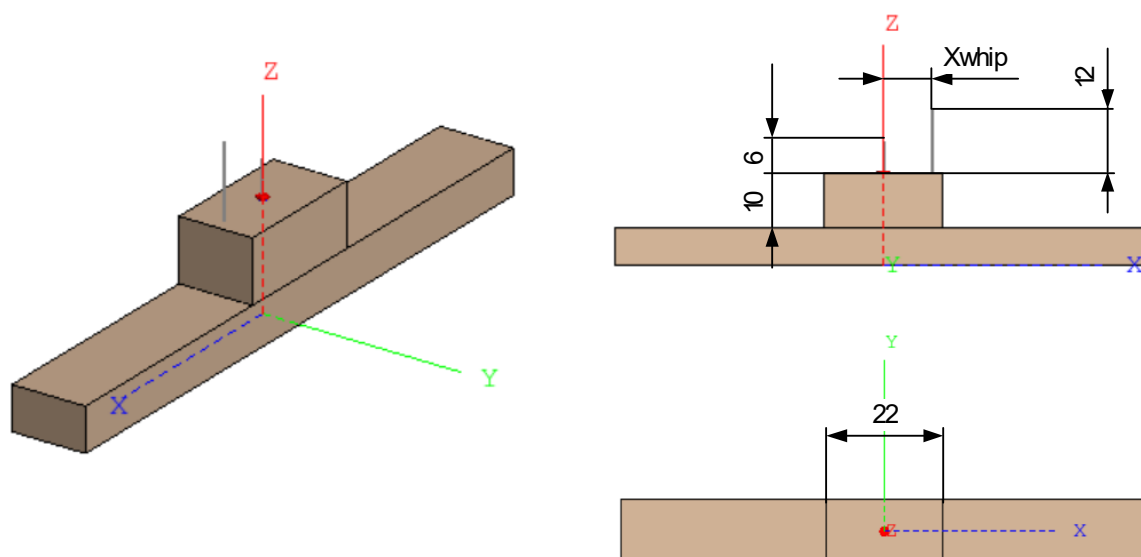


Рис. 4. Модель «монополь с паразитным монополем на кубоиде с надстройкой».

Существенной зависимости от смещения паразитного монополя  $X_{whip}$  не выявлено. Тем не менее, присутствие паразитного монополя увеличивает неравномерность ФДН и ГВЗ по сравнению с предыдущей моделью.

Таблица 4. Монополь с паразитным монополем на кубоиде с надстройкой.

$X_{whip}$ , м	$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
1	16,76	20,21	31,22	20,30	17,02	20,38	28,84	34,57
3	16,70	20,20	31,30	20,39	17,09	20,49	28,93	34,70
5	16,63	20,16	31,35	20,42	17,04	20,36	28,83	34,67
7	16,58	20,13	31,40	20,43	16,95	20,17	28,66	34,62
9	16,54	20,12	31,48	20,44	16,82	19,98	28,83	34,92
11	16,57	20,20	31,66	20,51	16,73	20,29	29,22	35,38

## 6. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой и мачтой»

В данной модели паразитный монополь (мачта, стрела грузового крана) высотой  $h_{mast}$  располагается на палубе на расстоянии  $X_{mast} = 40$  м от середины корабля по его продольной оси. Внешний вид модели представлен на рисунке 5.

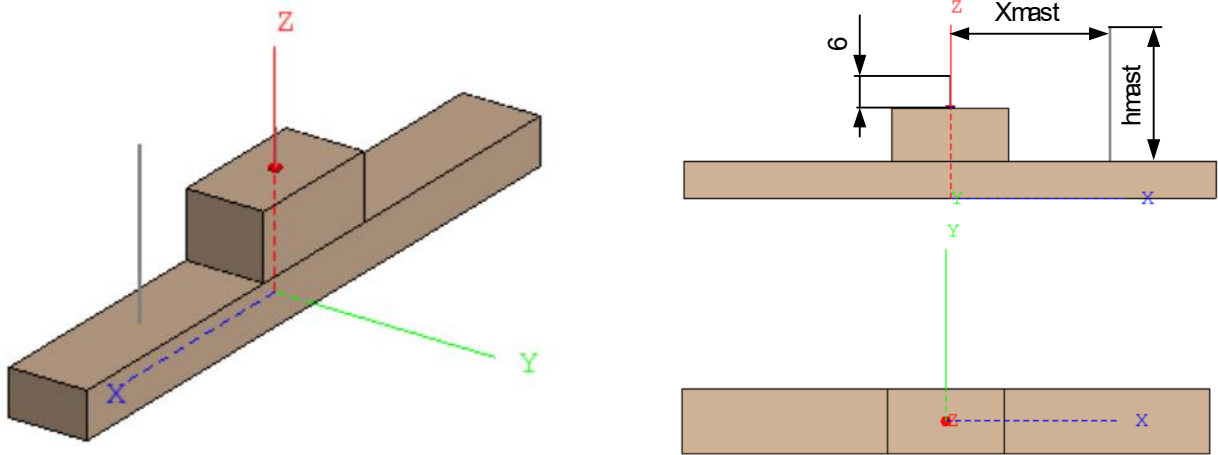


Рис. 5. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой и мачтой».

Таблица 5. Монополь на кубоиде с надстройкой и мачтой.

$hmast, \text{ м}$	$\Delta\tau(\varphi), \text{ нс}$					$\Delta\tau(f), \text{ нс}$		
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
16	14,31	18,59	27,42	11,37	9,29	23,28	34,22	41,72
20	16,20	21,85	27,30	3,42	2,38	27,06	41,74	53,81

### 7. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой и двумя мачтами»

Внешний вид модели представлен на рисунке 6. В дополнение к предыдущей модели установлена вторая мачта высотой  $hmast2 = 15 \text{ м}$ , расположенная на расстоянии  $Xmast2 = 30 \text{ м}$  от середины корабля по его продольной оси.

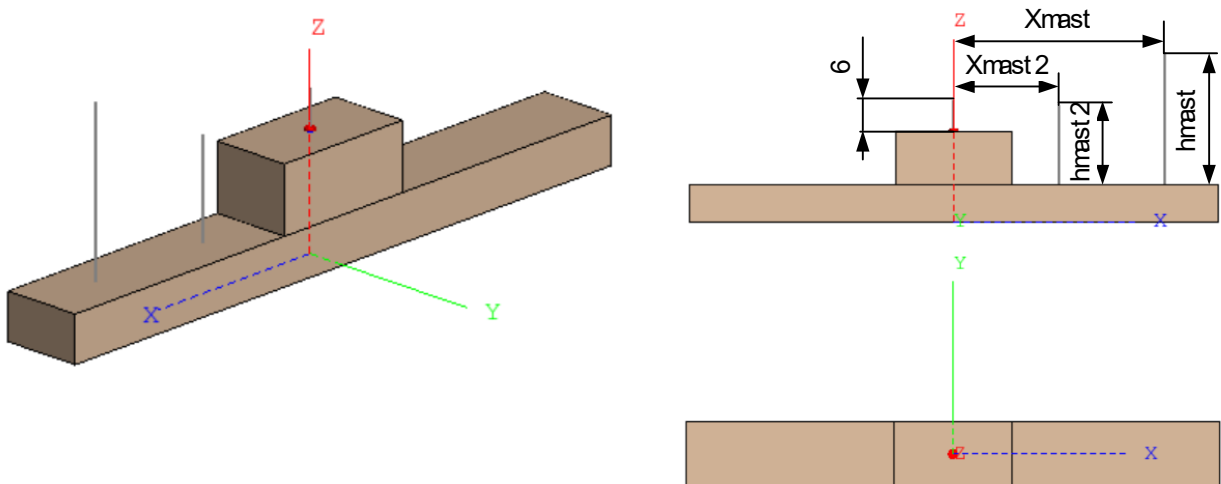


Рис. 6. Модель «монополь на кубоиде с надстройкой и двумя мачтами».

Таблица 6. Монополь на кубоиде с надстройкой и двумя мачтами.

$hmast, м$	$\Delta\tau(\varphi), нс$					$\Delta\tau(f), нс$		
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
16	14,38	19,10	27,06	7,30	4,65	25,07	37,99	48,10
20	16,45	22,44	26,83	3,68	3,11	28,88	45,69	60,45

## 8. Модель «поднятый монополь с противовесами над на кубоидом»

Полученные для описанных выше моделей результаты говорят о том, что форма ФДН заметно искажается при установке антенны на носитель, что приводит к появлению неравномерности ГВЗ. Предпринята попытка уменьшить неравномерность ФДН и ГВЗ, поднимая монополь над кораблем. При этом электрический контакт между монополем и поверхностью корабля отсутствует, и для корректной работы антенны необходимо использовать противовесы. Другим вариантом может быть применение симметричного вертикального электрического вибратора.

В первую очередь проведем описанную модификацию с моделью «монополь со смещением от центра кубоида», которая описана выше в разделе 2. Внешний вид модели показан на рисунке 7.

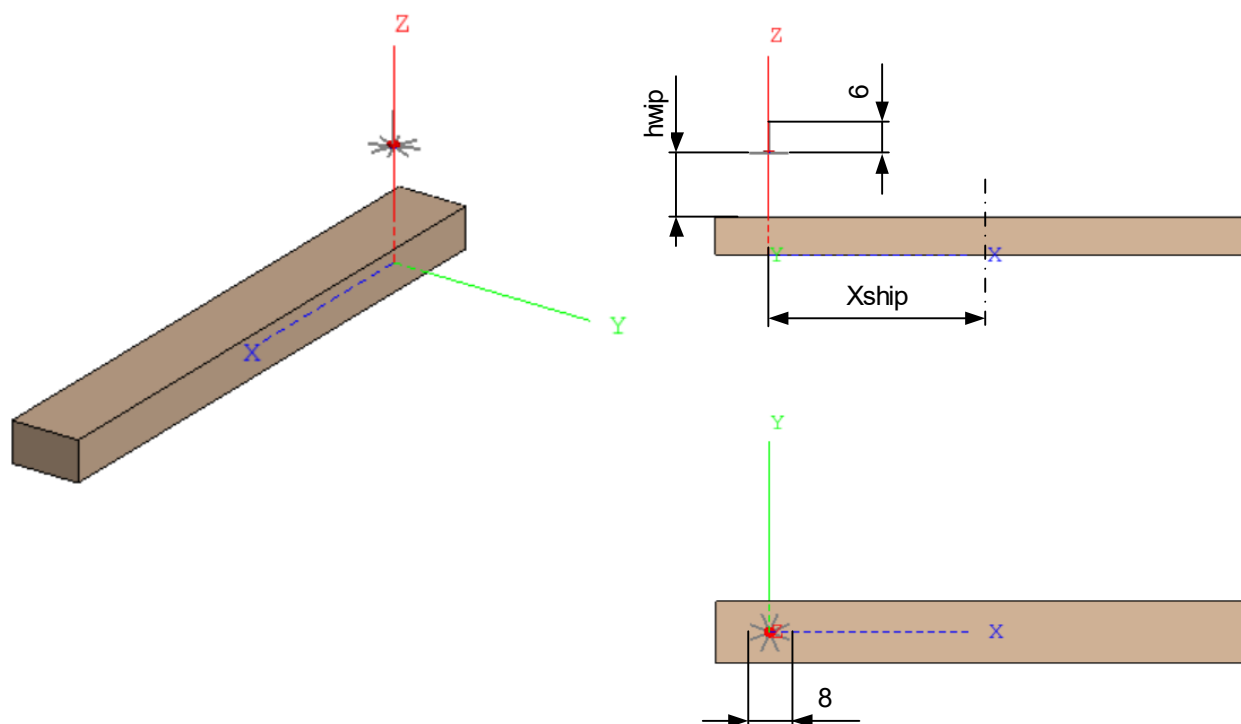


Рис. 7. Модель «поднятый монополь над кубоидом».

Как и для модели «монополь со смещением от центра кубоида», переменной величиной является смещение центра корабля от начала координат  $X_{ship}$ . Вторая переменная  $hwip$  задает подъем монополя над верхней поверхностью корабля.

Моделирование проведено для сочетаний  $X_{ship} = 0, 10, 20, 30, 40$  и  $50$  м при  $hwip = 6, 12, 24$  м. Во всех случаях отмечено уменьшение неравномерности ФДН и ГВЗ. В таблице 7 значения приведены в сравнении с монополем, расположенным без подъема непосредственно на поверхности корабля, т.е. с моделью «монополь со смещением от центра кубоида», раздел 2. Соответствующая строка в таблице приведена для всех вариантов смещения  $X_{ship}$  и обозначена  $hwip = 0$ .

Таблица 7. Поднятый монополь над кубоидом.

$X_{ship}$ , м	$hwip$ , м	$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
		0°	45°	90°	135°	180°	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
0	0	9,19	7,05	3,22	7,05	9,19	19,14	26,96	31,54
	6	8,83	7,23	2,47	7,24	8,83	18,83	26,24	30,13
	12	8,07	7,39	1,42	7,39	8,07	18,25	24,86	27,47
	24	5,93	7,50	3,04	7,50	5,93	16,25	20,32	19,11
10	0	10,41	3,47	2,76	5,22	3,28	22,76	27,85	27,94
	6	10,37	3,88	2,04	5,24	3,43	22,30	26,93	27,05
	12	10,14	4,46	1,11	5,11	3,74	21,45	25,20	25,25
	24	9,15	5,84	3,27	4,58	4,70	18,76	19,86	19,13
20	0	4,01	2,05	1,54	3,64	11,32	22,49	22,57	19,38
	6	4,40	1,59	0,98	3,65	11,35	21,94	21,79	18,62
	12	4,90	1,00	0,76	3,75	11,44	20,92	20,35	17,28
	24	5,90	1,68	3,96	4,08	11,68	17,98	16,34	14,21
30	0	2,36	5,62	0,25	9,90	15,34	17,57	16,41	14,66
	6	1,79	5,11	0,73	9,80	15,09	17,06	16,06	14,44
	12	1,03	4,30	1,71	9,71	14,69	16,19	15,38	13,92
	24	1,06	1,98	4,78	9,44	13,23	14,20	13,62	12,47
40	0	3,93	5,91	1,37	14,39	11,07	11,19	10,62	10,00
	6	3,45	5,50	1,97	14,07	10,71	10,96	10,58	10,37
	12	2,81	4,91	2,89	13,57	10,03	10,84	10,69	10,92
	24	1,38	3,25	5,31	12,04	8,09	10,84	11,08	11,73
50	0	2,19	4,35	1,85	13,83	6,11	18,62	23,85	23,66
	6	1,60	3,71	2,86	12,53	7,61	14,38	18,99	18,96
	12	1,41	3,41	3,66	11,15	8,93	11,03	14,90	14,74
	24	1,11	2,65	5,26	8,72	11,31	8,67	11,12	11,17

### 9. Модель «поднятый монополю над кубоидом с надстройкой»

Аналогичная модификация применена к модели «монополю на кубоиде с надстройкой», монополю с противовесами поднят над надстройкой на высоту  $h_{wip} = 6, 12, 24$  м. Результаты показаны в таблице 8 в сравнении с моделью «монополю на кубоиде с надстройкой» ( $h_{wip} = 0$ ).

Таблица 8. Поднятый монополю над кубоидом с надстройкой.

$h_{wip}$ , м	$\Delta\tau(\varphi)$ , нс					$\Delta\tau(f)$ , нс		
	0°	45°	90°	135°	180°	1,6 МГц	1,9 МГц	2,2 МГц
0	13,65	17,03	28,01	17,03	13,65	19,80	28,33	34,16
6	11,44	14,63	25,66	14,63	11,44	19,88	28,37	34,10
12	7,93	10,42	20,91	10,42	7,93	19,72	27,79	32,70
24	1,15	3,08	5,22	3,08	1,15	17,90	23,08	22,27

### 10. Сводные результаты

Значения  $\Delta\Phi(f)$  и  $\Delta\tau(\varphi)$  приведены на графиках ниже в зависимости от высоты подъема монополю. На рисунках величина  $\varphi$  обозначает угол между осью  $OX$  и направлением прихода сигнала.

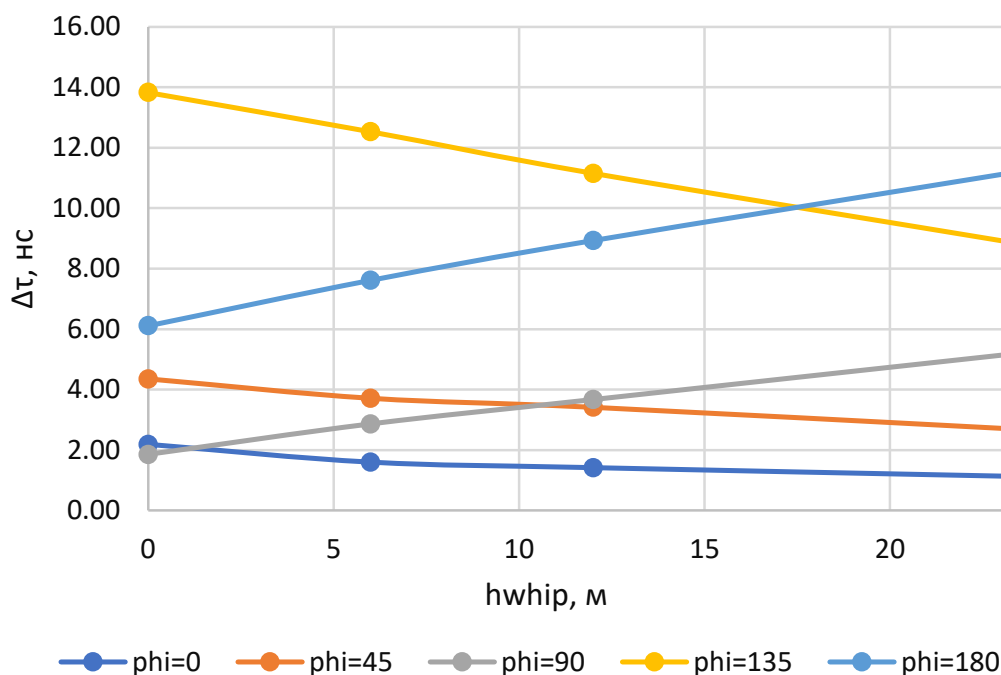


Рис. 8. Неравномерность ГВЗ для модели «поднятый монополю над кубоидом»,  $X_{ship} = 50$ , в зависимости от высоты подъема монополю  $h_{wip}$  при разных направлениях прихода сигнала.

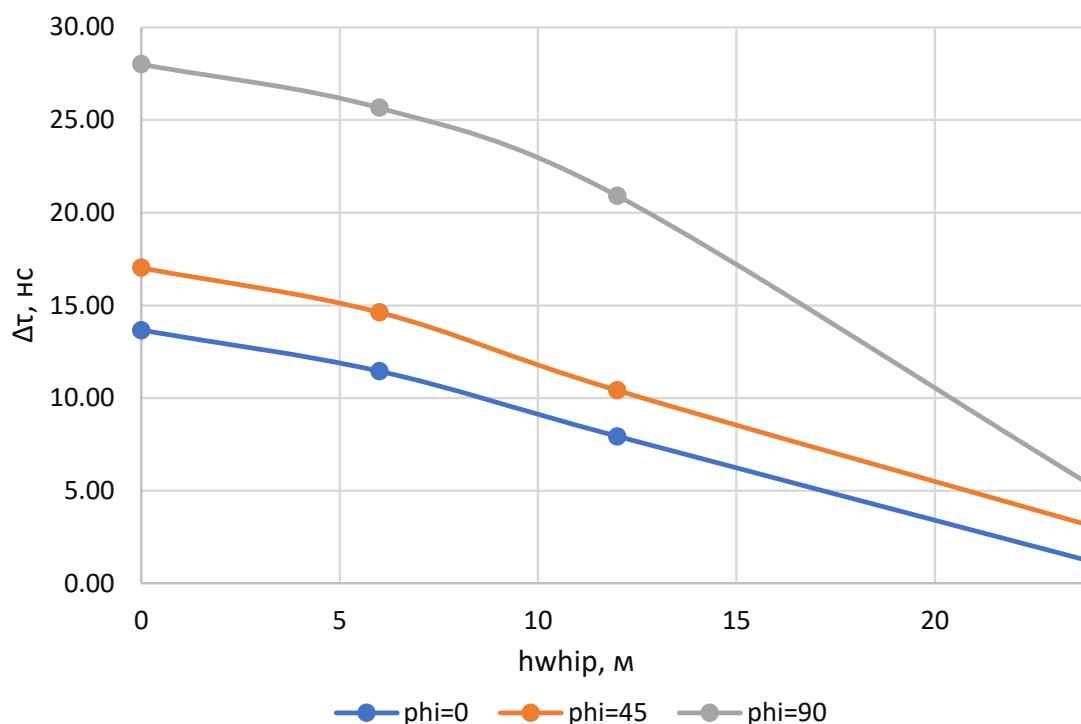


Рис. 9. Неравномерность ГВЗ для модели «поднятый монополь над кубоидом с надстройкой» в зависимости от высоты подъема монополя  $h_{whip}$  при разных направлениях прихода сигнала.

Как следует из рисунков, при существенном (выше 20 м) подъеме антенны над носителем, неравномерность ФДН может быть снижена в несколько раз. Однако, техническая возможность реализации этого способа доступна не всегда.

## 11. Ошибка измерения кодовой и фазовой псевдодальностей для антенн на носителе

Далее приводятся результаты моделирования, демонстрирующие зависимость задержки и фазы принятого навигационного сигнала корабельной антенной от направления прихода волны.

Моделирование прохождения навигационного сигнала выполнено для модели «монополь на кубоиде с надстройкой и двумя мачтами», описанной в разделе 7. Значения  $X_{mast} = 40$  м,  $h_{mast} = 20$  м,  $X_{mast2} = 30$  м,  $h_{mast2} = 15$  м соответствуют наихудшему из исследованных вариантов с точки зрения неравномерности ГВЗ. На рисунке 11 приведен график зависимости ГВЗ радиоканала от направления прихода сигнала.

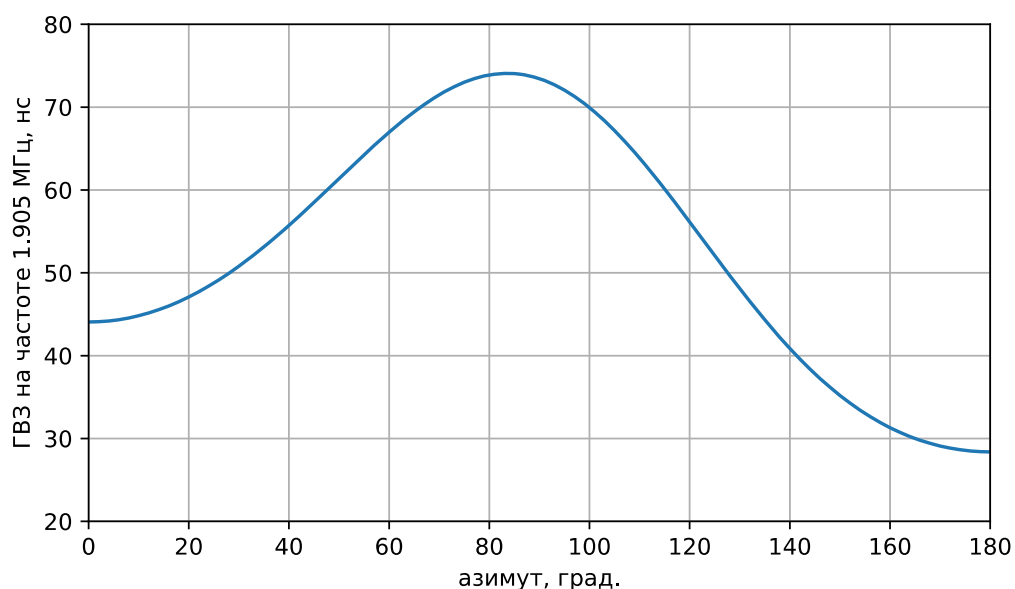


Рис. 10. Зависимость ГВЗ на центральной частоте от направления прихода сигнала.

На рисунках 12 и 13 показаны зависимости кодовой и фазовой псевдодальностей от направления прихода сигнала.

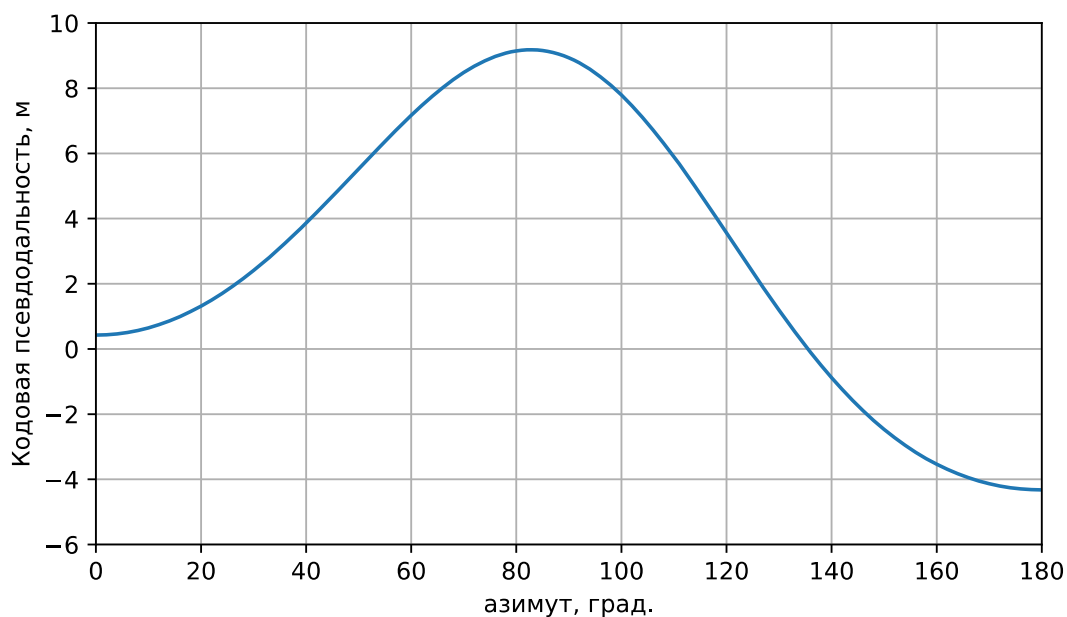


Рис. 11. Зависимость кодовой псевдодальности от направления прихода сигнала.

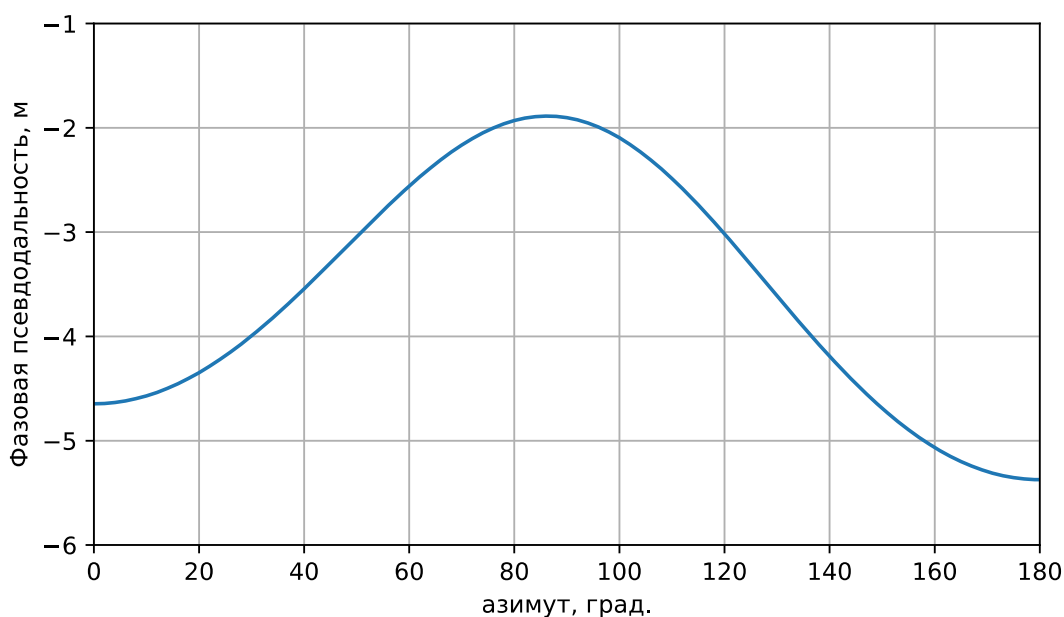


Рис. 12. Зависимость фазовой псевдодальности от направления прихода сигнала.

Как видно из представленных рисунков, определение псевдодальностей производится с существенной ошибкой, которая вызвана размещением антенны на носителе и наличием окружающих антенну объектов.

## Заключение

В ходе исследования была рассмотрена приемная корабельная антенна типа «вертикальный монополь». Исследование проводилось путем моделирования антенны методом моментов, также было проведено математическое моделирование работы радионавигационной системы для оценки получаемых радионавигационных параметров. Проведенные исследования показали, что на точность навигации по сигналам средневолновой РНС значительное влияние оказывают предметы, окружающие приемную антенну. Для борьбы с многолучевым распространением навигационных сигналов предложено поднять приемную антенну над носителем. Кроме того, возможно использование программных средств для введения калибровочных таблиц, учитывающих частотные и азимутальные искажения ФДН.



**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (номер FSRZ- 2023-0008).

### Литература

1. Zhang Q. et al. A refined metric for multi-GNSS constellation availability assessment in polar regions // *Advances in Space Research*. – 2020. – Т. 66. – №. 3. – С. 655-670. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.033>
2. Демьянов В. В. Срыв сопровождения сигналов навигационных спутников под воздействием солнечных вспышек радиоизлучения // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – 2008. – Т. 13. – №. 12. – С. 52-60.
3. Произошел сбой системы ГЛОНАСС // Информационное агентство ТАСС. 3 апреля 2014. URL: <https://tass.ru/interviews/16292261> (дата обращения: 15.04.2024).
4. Правила по оборудованию морских судов. Часть V. Навигационное оборудование. НД № 2-020101-153. Санкт-Петербург, 2022.
5. LORAN-C Infrastructure & E-LORAN // GPS: The Global Positioning System. URL: <https://www.gps.gov/policy/legislation/loran-c/> (дата обращения: 15.04.2024).
6. MarRINav – Maritime Resilience and Integrity in Navigation 4000126063/18/NL/MP NAVISP-EL3-001, G. Shaw, 25 March 2020.
7. L. Chang-won. Terrestrial navigation system ready for use in S. Korea to cope with jamming and electric warfare, // Aju Press. 1 апреля 2021. URL: <https://www.ajudaily.com/view/20210401091701262> (дата обращения: 15.04.2024).
8. Grundhöfer L. et al. Positioning with medium frequency R-Mode // *Navigation*. – 2021. – Т. 68. – №. 4. – С. 829-841. <https://doi.org/10.1002/navi.450>
9. Селиверстов А.С. Высокоточная радионавигационная система «Спрут-Н1» // *Записки по гидрографии*, № 308, 2019. С. 54-64.

**Для цитирования:**

Князева К.В., Панько В.С., Ерохин А.А., Андреев А.Г., Косолапов А.В., Нелипа С.Б. Искажения фазовой диаграммы направленности антенны СВ-диапазона при ее размещении на носителе. // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.7.6>