

УДК 656.6:621.39

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА СЕТИ ПЛАВУЧИХ НАВИГАЦИОННЫХ ЗНАКОВ

Дугин Николай Александрович^{1,2}, профессор кафедры физики и СИБУиТ

e-mail: ndugin@yandex.ru

Кораблев Егор Денисович^{1,2}, заведующий лабораторией кафедры СИБУиТ

e-mail: graravar@gmail.com

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматривается проблема автоматизации системы контроля судоходной обстановки на водном транспорте для повышения безопасности судоходства. Предлагается создание информационной сети плавучих навигационных знаков (ПНЗ) для установления спутникового позиционирования ПНЗ, контроля внешней обстановки и целостности оборудования судового хода. Проведен анализ проблем при создании радиорелейной линии связи между ПНЗ, расположенными непосредственно над водной поверхностью.

Ключевые слова: плавучие навигационные знаки, радиорелейная линия, фазовый сдвиг, зона Френеля, автоматизация водного транспорта, безопасность судоходства, мониторинг судоходной обстановки.

EVALUATION OF RADIO COMMUNICATION LINE PARAMETERS IN A NETWORK OF FLOATING NAVIGATION MARKS

Nilokay A. Dugin^{1,2}, Professor of ISSaT Department

e-mail: ndugin@yandex.ru

Egor D. Korablev^{1,2}, Head of laboratory of ISSaT Department

e-mail: graravar@gmail.com

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² RRI Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper considers the problem of automation of the navigation control system in water transport to improve the safety of navigation. It is proposed to create an information network of floating navigation signs (FNS) to establish the satellite positioning of the FNS, monitor the external environment and the integrity of the navigation equipment. The analysis of problems in the creation of a radio relay communication line between remote control stations located directly above the water surface is carried out.

Keywords: floating navigation marks, radio relay line, phase shift, Fresnel zone, water transport automation, navigation safety, monitoring of the shipping situation.

В настоящее время прослеживается тенденция к автоматизации процессов управления транспортными потоками, в том числе для повышения уровня безопасности на транспорте. Водный транспорт является одной из наименее автоматизированных отраслей с точки зрения контроля за движением плавсредств. Предлагается повысить безопасность судоходства, путём построения системы мониторинга судоходной обстановки. Для этого потребуется использовать плавучие навигационные знаки (ПНЗ) и на их основе построить информационную сеть с передачей текущей информации об окружающей обстановке по радиорелейным линиям связи с выходом в глобальную сеть с общим центром управления. На данный момент с ПНЗ возникают ситуации, когда знаки отсутствуют на местах установки вследствие различных причин (естественный износ или механическое повреждение якорной цепи). Также существует проблема, связанная с ошибками судоводителей, например потеря пространственной ориентации, которая также может быть частично решена путём построения информационной сети плавучих навигационных знаков [1].

При рассмотрении структуры информационной сети ПНЗ была определена схема элементарной ячейки, изображенная на рис.1: передача информации ведется сначала между ближайшими ПНЗ (бакенами) до знака, имеющего выход в сеть мобильной связи.

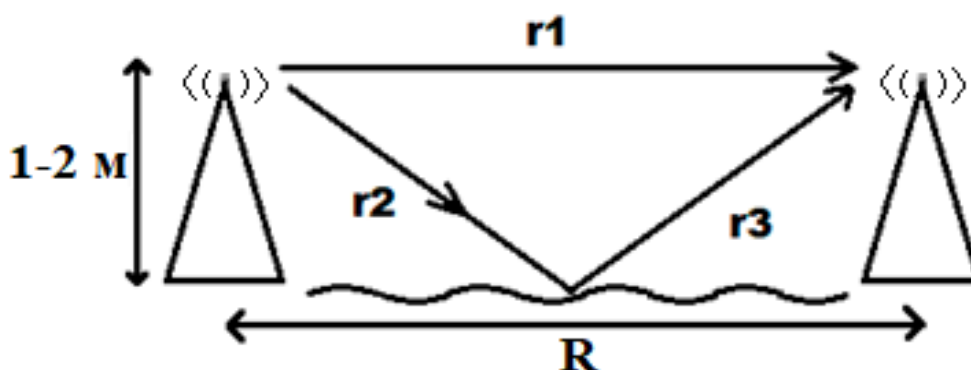


Рисунок 1 – Схема передачи информации между ПНЗ

Отсюда возникают следующие проблемы.

1. Низкое расположение приемо-передающих антенн над поверхностью воды приводит к появлению сильного отраженного сигнала (для слабонаправленных антенн по амплитуде сравнимого с прямым). Это обстоятельство требует расчетов параметров линии с выбором рабочих частот и расстояний между ПНЗ.

Здесь необходимо учитывать, что использование диапазонов без лицензии ГКРЧ ограничивается [2] эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) ≤ -17 дБВт (20 мВт) для 433,075-434,79 МГц, 100 мВт (при условии рабочего цикла не более 10% или при реализации режима прослушивания перед излучением) или 25 мВт (без ограничений) для 868.7-869.2 МГц и ЭИИМ ≤ -20 дБВт (100 мВт) для 2400-2483,5 МГц (при передаче данных телеметрии) [3].

В работе [4] подробно рассмотрены вопросы распространения радиоволн над морской поверхностью. Особое внимание уделено влиянию волнения моря на параметры передаваемых сигналов. Длины трасс – до нескольких километров, высоты расположения антенн на берегах – от единиц до десятков метров, частотные диапазоны – сантиметровый и миллиметровый. Для наших задач здесь интересны интерференционные вариации

сигналов в зависимости от параметров линии связи и изменений окружающей обстановки (ветер, волнения морской поверхности и т.д.).

В работе [5] были рассчитаны фазовые соотношения между прямым и отраженным сигналами при значениях R , равных 900, 1000 и 1100 метров, для следующих рабочих частот линии: 433 МГц, 868 МГц и 2400 МГц. Также определялся максимальный радиус первой зоны Френеля, которая образуется в окружности точки около координаты в середине между ПНЗ. Показано, что при использовании частоты 2400 МГц фазовый сдвиг отраженного сигнала относительно прямого близится к противофазе (180°). При этом максимальный радиус первой зоны Френеля равен 5,3-5,9 метров. При использовании частот 434 и 868 МГц фазовый сдвиг меньше 90° , что позволяет говорить о незначительном влиянии на амплитуду суммарного сигнала. Максимальный радиус первой зоны Френеля составляет 12,5-13,8 метров и 8,8-9,8 метров соответственно.

Поскольку на поворотах русла расстояния между бакенами существенно меньше, были проведены дополнительные расчеты для расстояний 300, 400 и 500 метров. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1. Расчёт сдвига фаз при различных частотах и расстояниях

Частота передачи в МГц	Длина волны в см	Расстояние между ПНЗ в м	Сдвиг фаз в радианах (градусах)	Максимальный радиус первой зоны Френеля в м
434	69,076	300	0,546 (31,27)	7,2
434	69,076	400	0,409 (23,45)	8,31
434	69,076	500	0,327 (18,76)	9,3
868	34,538	300	1,091 (62,54)	5,09
868	34,538	400	0,819 (46,90)	5,88
868	34,538	500	0,655 (37,52)	6,57
2400	12,491	300	3,02 (172,92)	3,06
2400	12,491	400	2,263 (129,69)	3,54
2400	12,491	500	1,811 (103,75)	3,95

Как видно из приведенных данных использование частот около 2400 МГц на рассчитываемых дистанциях приводит к сильному затуханию сигнала в канале связи от сложения прямой и отраженной волн; сдвиг фаз более 120° , что приведёт к затуханию сигнала порядка $\approx 4,8$ дБ.

Использование частот около 868 МГц на рассчитываемых дистанция приводит и к затуханию сигнала в канале связи от сложения прямой и отражённой волн порядка $\approx (1,1-2,9)$ дБ.

Использование частот около 434 МГц на рассчитываемых дистанция приводит к затуханию сигнала в канале связи от сложения прямой и отражённой волн менее $\approx 0,7$ дБ.

Т.е., использование высоких частот дает более узкую диаграмму направленности (ДН) и оптимальные энергетические затраты, но может привести к практически полному затуханию сигнала, что нивелирует эти преимущества.

Так как возможность повсеместного эквидистантного расположения ПНЗ мало вероятно, то может возникнуть проблема использования нескольких рабочих частот линии.

2. Поскольку передача сигнала в линии радиосвязи будет вестись непосредственно над водной поверхностью, то необходимо иметь антенны со специальной ДН – узкой в вертикальной плоскости и относительно произвольной в горизонтальной. Этому условию на первом этапе разработки системы удовлетворяют коллинеарные антенные решетки.

Наиболее подходящими для рассматриваемой информационной системы серийными антеннами можно считать антенну АК-868 от компании Альтоники [6].

При более детальной разработке проекта возможно создание специализированной антенны с требуемыми параметрами на нужный частотный диапазон.

3. Связь между элементами линии радиосвязи должна быть практически постоянной (с периодами в несколько минут для экономии энергии аккумуляторов). Длительность посылок и темп передачи данных оператору будут зависеть как от числа датчиков контроля положения знака и параметров окружающей среды, так и от требований к оперативности контроля.

4. Рассматривается возможность использования эффекта мерцаний полезного сигнала для следующих элементов контроля внешней обстановки:

- оценка погодных условий (рассеяние отраженного сигнала на «шероховатой» поверхности и ослабление его влияния на связь, качание НПЗ (бакенов));
- определение появления проходящих судов на судовом ходу по вариациям отражённого от судна сигнала;
- пропадание полезного сигнала при пересечения судами границы судового хода (экранирование линии связи).

Таким образом, решение поставленных задач и более точные характеристики разрабатываемой сети будут определены после проведения натурных испытаний в акватории Волги у Нижнего Новгорода, запланированных на вторую половину 2026 года.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки: госзадание FSWR-2026-0011

Список литературы:

1. Кораблев Е.Д., Федосенко Ю.С. // В кн.: Тр. XXXII научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии». – Н. Новгород, 2026. С.9.
2. Решение государственной комиссии по радиочастотам при министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 16 июня 2021 г. №21-58-05 О внесении изменений в решение ГКРЧ от 7 мая 2007 года № 07-20-03-001 // Консультант Плюс. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 18.06.2026)
3. Решение государственной комиссии по радиочастотам при министерстве информационных технологий и связи от 7 мая 2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» // Консультант Плюс. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 18.06.2026)
4. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью. М: «Радио и связь», 1991. 256 стр.
5. Н.А. Дугин, Е.Д. Кораблев. Оценка параметров линии радиосвязи в сети плавучих навигационных знаков. Труды XXX научной конференции по радиофизике, посвященной 125-летию А.А. Андропова, 12-30 мая 2026г., Нижний Новгород, ННГУ, (в печати).
6. АК-868 антенна коллинеарная Альтоники. [Электронный ресурс]. – URL: <https://alpatech.ru/sistemy-ops/gsm-monitoring/altonika-gsm/antenny/ak-868-antenna-kollinearnaya-altonika/?ysclid=mpax3qz7s0142006263> (дата обращения: 18.06.2026)

