

ДВУХМЕРНАЯ НАВИГАЦИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА: ДВУХТОЧЕЧНЫЙ СКАНИРУЮЩИЙ ЛАЗЕРНЫЙ МАЯК

А.А. Большанин, С.М. Слободян, А.А. Цупин*

Томский политехнический университет

*Московская государственная академия водного транспорта

E-mail: sms_46@ngs.ru; atsupin@mail.ru

Предложена модель двухмерной лазерной навигации и ориентирования подвижного объекта (наземного, речного, морского и т. п.), облучаемого лазерными пучками двухточечного лазерного маяка-створа, сканирующими пространство навигации, реализующая принцип активного наведения автономного объекта по любой произвольно криволинейной траектории движения.

Ключевые слова:

Лазерные системы, навигация, управление объектами.

Key words:

Laser systems, navigation, object control.

Введение

В задачах наведения и навигации подвижных объектов одним из главных направлений является обеспечение безопасности их перемещения и повышение точности и надёжности наведения. Решение этой важной практической проблемы напрямую связано с обеспечением безопасности движения, в том числе и автономных, подвижных объектов по установленным траекториям перемещения. Предназначенные для решения этих задач радиотехнические системы не удовлетворяют возросшим требованиям к точности ориентирования автономных подвижных объектов. Особенно актуально это замечание при управлении перемещением автономных автоматических подвижных объектов по сложным, с точки зрения конфигурации, и отнюдь не прямолинейным траекториям их движения. Часто наведение автономных подвижных объектов требуется с точностью ориентирования более, чем на порядок превышающей значение точности ориентирования присущей радиотехническим системам.

В условиях ближней навигации объектов часто применяют светотехнические (оптического диапазона излучение) навигационные средства, применение которых, как систем дополняющих навигационный комплекс, компенсирует в диапазоне малых расстояний погрешности радиотехнических навигационных систем. Эффективность светотехнических средств заметно понижается в сложных метеорологических условиях (наличия осадков, тумана и т. п.) из-за резкого возрастания (по закону Бугера) показателей (поглощения и аэрозольного рассеяния) затухания для электромагнитных волн оптического диапазона в рассеивающей атмосферной среде. Вполне очевидно, атмосферный эффект ослабления оптического излучения можно компенсировать увеличением плотности мощности излучения, исходящего от светотехнических средств, что и приводит к обоснованному применению лазерных приборов и систем с их уникальными свойствами в средствах ближней навигации подвижных объектов.

Принцип лазерной навигации

Впервые простейшая лазерная навигационная система для визуального ориентирования автономных подвижных объектов управляемых оператором (судоводителем) была применена в 1971 г. в Австралии для проводки морских судов в порт Карумба [1–6]. Для этого использовался лазерный луч с «естественным» для гелий-неонового лазера углом расходимости лазерного луча. Такой тип лазерного опорного маяка задающего направление прямолинейного движения на «створ» в очень узкой угловой пространственной зоне ориентирования в дальнейшем получил название «лазерного односекторного маяка». В течение последующих лет были предложены десятки вариантов конструкций лазерных навигационных маяков. Обобщая, применительно к решаемой в настоящей статье задаче, все известные варианты лазерных маяков можно их свести к двум классам — без сканирования пространства и со сканированием пространства ориентирования лазерным пучком [6].

При некоторой, кажущейся на первый взгляд, излишней процедуре осуществления управления пространственным положением лазерного луча, именно, маяки со сканированием лазерным пучком навигационного пространства наиболее привлекательны [7].

Рядом преимуществ, по сравнению с секторными типами, обладают лазерные створы (ЛС), образованные комплексированием лазерных сканирующих маяков (ЛМ). Принцип их действия основан на том, что любая двумерная или пространственная кривая (траектория движения объекта) может быть определена пересечением прямых, исходящих из начал двух систем координат [9]. При равномерном вращении лучей и равных азимутальных углах α и β места пересечений определяют опорную прямую линию. Для более сложных законов вращений лучей можно получить достаточно широкий класс практически любой формы опорных траекторий. При отклонении объекта от опор-

ной траектории излучение лазерных пучков регистрируются фотоприемным устройством не одновременно. Причем, чем дальше объект находится от опорной траектории движения, тем больше временной интервал между принимаемыми сигналами. К достоинствам этого метода следует отнести простоту ориентирования, возможность оценки степени отклонения объекта от рекомендуемого курса движения, высокую точность наведения и навигации и пригодность его для создания автоматической системы автономной навигации подвижных объектов. Однако, при навигации и ориентировании подвижных объектов требуется не просто указать рекомендуемую траекторию движения, но при этом сформировать достаточно широкую зону ориентирования, поскольку подвижный объект на практике движется не по оптимальной траектории, а в некоторой области вблизи нее.

В частности, для автоматизированных систем управления с участием оператора с целью расширения возможностей принципа и повышения точности ориентирования, могут быть использованы дополнительные лазерные маяки, «лучи» которых синхронно вращаются вокруг вертикальных осей, что создаёт эффект «бегущего огня», аналогичный тому, который возникает при последовательной коммутации лампочек иллюминации, причем движение огней будет указывать направление корректировки движения объекта наведения и улучшит контроль процесса ориентирования.

С другой стороны, использование дополнительного маяка усложняет как саму конструкцию системы, так и ее эксплуатацию. Наведение и навигация подвижных объектов на водной или земной поверхности с различной высотой «рубки оператора» и на разных удалениях от места установки ЛС могут быть обеспечены за счет сканирования лазерных лучей маяков в вертикальном направлении.

Проведенные исследования показали, что оптический контраст прямого излучения, несущего информацию о положении источника, и фона рассеянного излучения сохраняется на больших расстояниях при малой угловой расходимости лазерного пучка, поэтому сканирование узконаправленными лучами лазера будет давать определённые преимущества [9]. Аналогичный эффект «бегущего огня» при визуальном принципе определения направления отклонения от опорного направления движения также даёт вращение лучей лазерных маяков с вертикально-векторными диаграммами направленности вокруг горизонтальных осей [7].

Для конкретных условий наведения подвижных объектов по криволинейным, в общем случае, траекториям необходимо оптимизировать эти принципы и найти ясные технические решения.

Кратко обосновать это утверждение можно следующим образом. Процедура сканирования пространства лазерным пучком, с точки зрения промышленного исполнения лазерных дефлекторов, достаточно хорошо проработана. Применение про-

цедуры сканирования сохраняет в полной мере все уникальные общеизвестные свойства лазерного луча. Отрицательные моменты, связанные с кратковременностью поступления информации (импульсный процесс — «вспышки» створа) для ориентирования оператора при принятии им решений, могут быть преодолены повышением скорости сканирования и увеличением быстродействия приемных средств навигационного оборудования для автоматического наведения по ЛС.

До настоящего времени работы по автоматизации управления подвижными объектами на курсе и траектории движения, расхождения объектов на встречных потоках движения, определение местоположения на траектории перемещения, контроля устойчивости управления и наведения, особенно в области судовождения, являются актуальными. Автоматическая проводка подвижных объектов по лазерным створам изучена недостаточно.

Наведение подвижных объектов по произвольной траектории

При наведении подвижных объектов по криволинейным траекториям с использованием лазерных навигационных средств одним из основных приоритетных этапов является необходимость определения мест расположения лазерных маяков и соответствующих зон управления их лучами.

Общие требования к построению навигационной системы, обеспечивающей автоматическое движение подвижных объектов (в рассматриваемой ниже практической апробации — водных судов) по криволинейным траекториям.

В [5–8] отмечено, что навигационные системы на основе лазерных сканирующих маяков (ЛСМ) могут осуществлять наведение и навигацию подвижных объектов не только по прямолинейным, но и по криволинейным траекториям. Известно, что траектории движения объектов на некоторой двумерной плоскости можно представить в виде ломаных отрезков прямых линий и связывающих их дуг окружностей [9]. Область допустимого положения траектории движения объекта (фарватер) представляет собой некоторую окрестность этих траекторий.

В общем случае, решение задачи навигации и наведения подвижных объектов по криволинейным траекториям — извилистым «фарватерам» достаточно сложно. Только в простейшем варианте движения по прямолинейным траекториям места размещения маяков и законы сканирования их лучей могут быть легко определены на основе очевидных соображений.

Рассмотрим требования к построению навигационной системы подвижных объектов на основе двух лазерных маяков сканирующих навигационное полупространство. Для осуществления наведения объектов по сигналам лазерной навигационной системы (ЛНС) по изложенным выше принци-

пам ее построения, необходимо обеспечивать выполнение следующих условий:

1. в пределах зоны ориентирования в течение одного периода сканирования лучами (ЛСМ) должна наблюдаться только одна пара «проблесков» — по одному «проблеску» от каждого ЛСМ лазерного створа. Это требование обеспечивает однозначность восприятия сигналов ЛНС оператором;
2. величины углов сканирования ЛСМ определяются параметрами конструкции конкретного лазерного дефлектора и не должны превышать определенных величин;
3. для обеспечения постоянства частоты вертикального сканирования лучей ЛСМ и минимизации требуемой мощности источника лазерного излучения горизонтальная скорость движения лучей лазерных маяков по траектории движения объекта навигации должна быть равномерна;
4. в силу удобства размещения и обслуживания ЛСМ должны устанавливаться в некоторой, достаточно узкой, области вблизи фарватера движения;
5. угловое расстояние между маяками при максимальном удалении от места их установки не должно быть меньше угла разрешения оптического зрачка наблюдателя, поскольку наблюдатель должен видеть маяки раздельно. С другой стороны, очевидно, что оба маяка должны одновременно находиться в поле зрения наблюдателя. При построении ЛНС п. 5 видоизменяется в зависимости от того, требуется ли раздельная регистрация лазерных маяков;
6. расстояние между маяками должно быть по возможности минимальным и не превышать некоторого расстояния, обусловленного конструкцией аппаратуры;
7. для безопасности наведения зона ориентирования по синхронным сигналам лазерных маяков должна содержаться внутри пространства заданного движения объекта — фарватера;
8. расстояние от лазерных маяков до траектории наведения не должно превышать заданной величины.

Задачу определения мест размещения лазерных маяков с учетом указанных ограничений можно свести к определению точки расположения минимума некоторой целевой функции в многомерной, невыпуклой, вообще говоря, области. Рассмотрим математическую формулировку задачи об оптимальном размещении лазерных маяков.

Выполнение условия п. 1 приводит к тому, что лазерные маяки могут располагаться в областях G и Ω , ограниченных касательными l_1 и l_2 к траектории движения, проведенными в ее крайних точках S и V .

Следует отметить, что при сканировании лучей маяков в одном направлении оба маяка располага-

ются либо в области G , либо в Ω . Если же лучи движутся навстречу друг другу, маяки располагаются в разных областях, что вместе с требованием п. 3 практически означает прямолинейность траектории SV . Иными словами, для существенно криволинейных траекторий второй вариант можно отбросить.

Функции, задающие области G и Ω , записываются в виде неравенства

$$g(x) \geq 0; \quad w(x) \geq 0,$$

так, что

$$G = \{X \in R^2 \mid g(x) \geq 0\},$$

$$\Omega = \{X \in R^2 \mid w(x) \geq 0\},$$

где

$$g(x) = [g_1, g_2, \dots, g_m](x) \in C^\infty$$

и

$$w(x) = [w_1, w_2, \dots, w_m](x) \in C^\infty$$

— некоторые векторные бесконечно дифференцируемые функции, причем неравенства

$$g(x) \geq 0; \quad w(x) \geq 0$$

обозначают, как правило, наборы условий $g(x) \geq 0, i=1, \dots, m$ и $w(x) \geq 0, i=1, \dots, k$.

Требование п. 2 означает, что область допустимого расположения маяков находится вне объединения областей, ограниченных некоторыми окружностями R_1 и R_2 . Окружности R_1 и R_2 определяются как геометрическое место точек, из которых отрезок SV виден под углом α . Обозначим через $z(x)$ функцию, область неотрицательных значений которой совпадает с областью указанного выше объединения, тогда условие п. 2 эквивалентно неравенству

$$z(x) \geq 0,$$

так, что

$$R = \{X \in [R_1 \cup R_2], X \in R^2 \mid z(x) \geq 0\},$$

где

$$z(x) = [z_1, z_2, \dots, z_k](x) \in C^\infty.$$

Конкретный вид $z(x)$, так же как $g(x)$ и $w(x)$ трудно привести, исходя из геометрических соображений.

Выполнение условий п.п. 3 и 7 накладывает ограничения на минимальную величину пространственного разнеса маяков. Ширина зоны ориентирования определяется инерционностью зрения наблюдателя (постоянной времени приемника) и величиной угла расходимости излучения ЛСМ. На границе фарватера временной интервал между лазерными «проблесками» должен превышать инерционность зрения (0,04 с), либо значение постоянной времени приемника (от 10^{-3} до 10^{-9} с).

Пусть $Y \in R^2$ и $Z \in R^2$ обозначают места расположения маяков, F — граница фарватера, Q — некото-

рая точка на границе F . Поскольку, в силу выполнения условия п. 3, лучи лазерных маяков движутся в области траектории перемещения подвижного объекта SV равномерно, то интервал времени между моментом окончания приема сигнала от маяка Y (левый край луча YQ) и моментом начала приема сигнала от маяка Z (правый край луча ZQ), однозначно определяется длиной дуги Y_0Z_0 , где Y_0 и Z_0 — точки пересечения биссектрис углов b , определяющих угол расходимости лазерных пучков с траекторией движения объекта.

Исходя из того, что значения параметров дуги SV и места расположения точек (y, z, Q) однозначно определяют скорость движения S луча по дуге SV и величину угла расходимости β , нетрудно привести вид функции $\tau = \tau(y, z, Q)$, где τ — интервал времени, соответствующий дуге (Y_0Z_0) .

Условие по п. 3, в этом случае, выглядит следующим образом

$$\min \tau(Y, Z, Q) \geq \tau_0,$$

где τ_0 — время, характеризующее инерционность приемника.

Изменения в выражениях для случая, когда Q принадлежит нижней границе фарватера F , очевидны.

Обозначим через P область, расположенную вдоль границ области прилегающей к линии фарватера, в которой могут находиться лазерные маяки. Пусть эта область, как и ранее, является областью неотрицательных значений некоторой функции $p(x)$, тогда условие п. 4 принимает вид

$$p(x) \geq 0$$

такой, что

$$p = \{x \in R^2 | p(x) \geq 0\},$$

$$p(x) = [p_1, p_2, \dots, p_n](x) \in C^\infty.$$

Условие по п. 5 имеет вид

$$\max j(Y, Z, Q) \leq j_0,$$

где j — угол между лучами QY и QZ .

Требование п. 6 выглядит следующим образом

$$|Y - z| \leq L_0,$$

где L_0 — заданное ограничение расстояния между маяками.

Последнее условие п. 8 эквивалентно следующему представлению:

$$\max \{|Q - Y|, |Q - Z|\} \leq Z,$$

Z — удаление точки наблюдения от лазерных маяков, определяемое условиями их видимости.

В качестве целевой вполне естественно рассматривать функцию, пропорциональную расстоянию между маяками и расстоянию от маяков до траектории. Выбор такой функции обусловлен тем, что *во-первых*, с увеличением расстояния между маяками возрастают затраты на их эксплуатацию, а,

во-вторых, при увеличении расстояния до траектории увеличивается требуемая мощность лазера, а соответственно, его стоимость. Обозначим

$$F(Y - Z, \max \{|Q - Y|, |Q - Z|\})$$

(где $Q \in F$) целевую функцию. Тогда задача сведется к нахождению ее минимума при выполнении условий п.п. 1–6.

Замечание 1. Для учета расстояния от места расположения маяков до траектории SV судна в целевой функции целесообразно в качестве аргумента использовать сумму

$$\{|Z_0 - Y| + |Q_0 - Z|\},$$

где Q_0 — центр дуги SV , что упрощает вычислительную процедуру, не меняя сути дела.

Выбор конкретного вида функции зависит от степени влияния входящих в нее различных параметров на ее значения. В частности, целесообразно использовать в качестве целевых следующие функции:

$$F|Y - Z|,$$

$$F = A|Y - Z| + B(|Q_0 - Y| + |Q_0 - Z|).$$

Можно утверждать, что эти функции описывают большинство случаев, возникающих при решении практически важных задач.

Замечание 2. Условия, изложенные в п.п. 5–7, на практике часто оказываются малосущественными, т. к. в точке минимума целевой функции соответствующие неравенства всегда строгие. Это означает, что при построении решения можно эти условия не учитывать, а лишь проверять их в конце расчета.

Полученная задача оптимизации, несмотря на простой вид целевой функции, достаточно сложна, поскольку область допустимого значения аргумента не является выпуклой и ее определения связаны с дополнительной задачей оптимизации п. 3.

Можно предложить упрощенный оценочный метод построения приближенного решения, заменив условие (п. 3) неравенством

$$\tau(Y, Z, Q^*) \geq \tau_0,$$

где Q^* — «выбранная», исходя из естественных соображений, точка. Задавая количественные значения параметров по п.п. 1–8, можно в каждом конкретном случае решить задачу оптимизации и получить координаты расположения лазерных маяков. Из-за большой трудоемкости наиболее целесообразны компьютерные расчёты для конкретных условий и топологии местности размещения маяков.

Определение мест размещения маяков и законов сканирования

Как уже указывалось, задача создания ЛНС для навигации и наведения подвижных объектов по криволинейным фарватерам разделяется на две задачи: определение мест размещения лазерных маяков, удовлетворяющих требованиям, изложенным в предыдущем параграфе, и определение законов

сканирования лучей ЛСМ. Из решения последней задачи вытекают требования к построению электронного блока управления ЛСМ.

Для решения задачи определения мест размещения ЛСМ в настоящей работе была выбрана целевая функция вида

$$F = (Y_1 - Z_1)^2 + (Y_2 - Z_2)^2,$$

где $Y(y_1, y_2)$ и $Z(z_1, z_2)$ – точки расположения ЛСМ.

Для нахождения мест размещения ЛСМ были составлены алгоритмы оптимизации при проведении компьютерных расчётов, учитывающие требования п.п. 1–8. Один из них представлял собой стандартную процедуру детерминированного циклического по координатного спуска (метод Хука-Джинса), включающий в себя «исследующий» поиск вокруг базисной точки и поиск «по образцу» в направлении, выбранном для оптимизации. Во втором использовался метод Монте-Карло (метод статистического моделирования). Сравнение эффективности различных методов оптимизации, применяемых в вычислительной технике, показывает преимущество, для решения указанного типа задач, этих двух используемых в работе методов. В качестве тестового примера был использован участок р. Невы в районе г. Петрокрепость (1309–1328 км, створ Драгунский).

Компьютерные расчёты обоими методами дали сходные результаты по размещению ЛСМ; расстояние между маяками, определённое компьютерными расчётами, не превышало 25...30 м.

Определение законов сканирования

Закон сканирования луча ЛСМ по горизонтали может быть определён аналитически, с учётом требований п. 3. При расчёте предполагается, что известен закон движения некоторой точки P по траектории SV (рисунок).

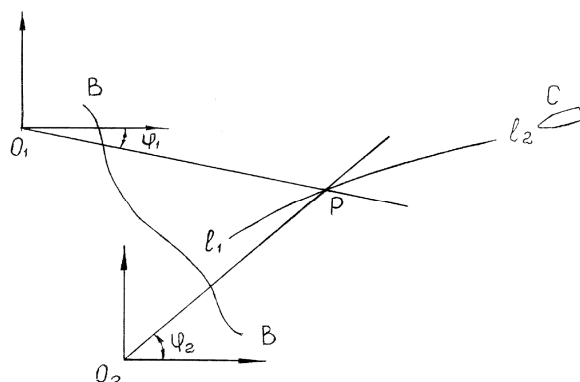


Рисунок. Принцип наведения подвижного объекта: O_1 и O_2 – опорные системы координат лазерных маяков; φ_1 и φ_2 – углы отклонений лазерных пучков маяков для формирования точки P на опорной линии l_1 – l_2 наведения объекта C ; BB' – линия прибытия при наведении объекта (для судна береговая линия)

Зависимость угла поворота луча ЛСМ от угла φ определяется следующим выражением:

$$\Psi(t) = \arccos \left\{ \frac{(R \sin \varphi - y_1)(R \sin \varphi_0 - y_1) + (R \cos \varphi - y_2)(R \cos \varphi_0 - y_2)}{[(R \sin \varphi - y_1)^2 + (R \cos \varphi - y_2)^2]^{1/2} \times [(R \sin \varphi_0 - y_1)^2 + (R \cos \varphi_0 - y_2)^2]^{1/2}} \right\},$$

где $\varphi = \varphi(t)$.

При равномерном движении точки P по окружности SV , можно записать в явном виде вид функции $\varphi = Kt$, где K – коэффициент, характеризующий скорость движения P по окружности SV .

Эту функцию, для конкретных значений входящих в нее параметров, можно аппроксимировать с заданной точностью непрерывной функцией, имеющей на каждом отрезке $[t_i, t_{i+1}]$ следующий вид:

$$\Psi(t) \cong \sum_{i=1}^N (A_i + C_i \exp K_i t),$$

где A_i , C_i и K_i – некоторые константы. Электронный блок управления лазерными маяками реализует эту функцию, что позволяет управлять по заданному закону устройствами отклонения лучей ЛСМ. Места размещения лазерных маяков и закон сканирования их лучей полностью определяют навигационную систему для навигации и наведения подвижных объектов по криволинейным траекториям движения – фарватерам заданного вида.

Использование рассмотренного принципа размещения маяков лазерного створа даёт возможность повысить точность и быстродействие, определять местонахождение подвижных объектов на всём протяжении действия лазерного створа и скорость их смещения с опорного курса движения, задаваемого лазерным створом.

Лазерные створы могут использоваться для оценки местоположения подвижных объектов управляемых оператором, а при наличии лазерной автоматической системы наведения объекта – для визуального контроля действия навигационной аппаратуры и правильности лазерного наведения по створу. Как показывает практика, такие системы будут эффективны на плавающих средствах при проведении гидрографических и научно-исследовательских работ в прибрежной акватории, когда необходимо определять местоположение объекта с весьма высокой точностью.

Выводы

Обоснована перспективность использования навигационных систем на основе лазерных сканирующих маяков для целей наведения подвижных объектов.

Предложены принципы построения лазерных навигационных систем на основе комбинации лазерных сканирующих маяков, при использовании

которых возможно как визуальное наблюдение, так и фотоэлектрический прием лазерных сигналов.

Рассмотрены системы, реализующие эти принципы и позволяющие упростить навигационное ориентирование подвижных объектов, увеличить надежность их наведения, обеспечить безопасность навигации при ухудшенных погодных условиях.

Впервые решена задача построения навигационной системы на основе двух лазерных маяков, позволяющей осуществить движение подвижных

объектов по криволинейным траекториям заданной формы.

Предложены и обоснованы методы расчета мест размещения маяков и законов сканирования их лучей, обеспечивающих движение подвижных объектов по траекториям произвольной криволинейности. Проведена компьютерная апробация расчёта мест размещения маяков на конкретном участке (г. Санкт-Петербург) криволинейной траектории наведения подвижных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. — М.: Транспорт, 1993. — 120 с.
2. Зуев В.Е., Фадеев В.Я. Лазерные навигационные устройства. — М.: Радио и связь, 1987. — 168 с.
3. Таратынов В.П. Судовождение в стесненных районах. — М.: Транспорт, 1980. — 128 с.
4. Афанасьев В.М., Баскин А.С. Лазерные створные маяки // Судовождение и связь. — 1977. — Вып. 7(102). — С. 3–10.
5. Олихов И.М., Косовский Л.Я. Мобильная лазерная трехцветная навигационная система // Электроника. Наука. Техника. Бизнес. — 1999. — № 3. — С. 25–27.
6. Слободян С.М., Цупин А.А. Лазерные навигационные системы автономных транспортных средств // Зарубежная радиоэлектроника. — 1988. — № 6. — С. 13–20.

7. Слободян М.С., Слободян С.М., Цупин А.А. Лазерный створ системы автоматического наведения // Электромеханические преобразователи энергии: Матер. Междунар. научно-техн. конф. — г. Томск, 17–19 октября 2007. — Томск: ТПУ, 2007. — С. 303–304.
8. Слободян М.С., Цупин А.А., Слободян С.М. Широкоформатный лазерный створ // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311. — № 2. — С. 34–39.
9. Ефимов Н.В. Краткий курс аналитической геометрии. — М.: Издательская группа URSS, 2009. — 232 с.

Поступила 01.02.2009 г.

УДК 550.388.2:621.371.25

ЭФФЕКТЫ НА ГРАНИЦЕ МЕРТВОЙ ЗОНЫ ПРИ РАЗНЕСЕННОМ ПРИЕМЕ ВЧ СИГНАЛОВ

И.И. Иванов, Г.И. Кулешов, Н.А. Коледин, А.Н. Коринный, В.М. Новиков

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Ростов-на-Дону
E-mail: nvm45@mail.ru

Сообщается о результатах экспериментов по обнаружению фокусировки на границе мертвой зоны и диагностике перемещающихся ионосферных возмущений при одновременной регистрации вариаций уровней сигналов станции РВМ на частоте 9996 кГц, принимаемых в гг. Шахты и Ростов-на-Дону.

Ключевые слова:

Ионосферные возмущения, прохождение и распространение радиоволн, мертвая зона, зона тени, уровень сигналов.

Key words:

Ionospheric disturbance, passing and distribution of radio waves, dead space, blind zone, signal level.

В настоящее время в ВЧ диапазоне спектра электромагнитных волн работают большое количество радиотехнических систем. Для обеспечения их качественного функционирования требуется оперативное определение характеристик среды распространения излучения. Во многих случаях применяются прогнозирование на основе ионосферных моделей, описывающих усредненное распределение и регулярные изменения электронной плотности. Модельные расчеты показывают наличие фокусировки ВЧ сигналов на границе мертвой зоны (ГМЗ) с увеличением уровней на 6 дБ. В ре-

альных условиях вариации уровней сигнала и углов прихода связаны с ионосферными неоднородностями и перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ), для которых широкомасштабная регулярная диагностика не проводится по причине технической сложности, а методы оперативного прогнозирования свойств среды распространения излучения отсутствуют.

Прохождение границы мертвой зоны происходит в часы суток восхода и захода Солнца и совпадает со временем существования интенсивных перемещающихся ионосферных возмущений в ио-