

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗОН ДЕЙСТВИЯ БЕРЕГОВЫХ СТАНЦИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

Бродский Е.Л., к. т. н.,
Сикарев А.А., д. т. н., проф.,
Холин А.В., аспирант
Санкт-Петербургский
государственный
университет водных
коммуникаций

В настоящее время пристальное внимание специалистов речного транспорта вызывают различные аспекты разработки топологической структуры и особенностей функционирования автоматизированных идентификационных систем на внутренних водных путях (ВВП). Особенности постановки таких задач подробно обсуждались в [1].

Настоящая статья имеет своей целью проанализировать, обобщить и предложить процедуры расчета дальности и зон действия БС АИС с учетом указанных вероятностных факторов.

Несмотря на полученные в прикладной и научной деятельности результаты, в значительной мере остается открытой задача аналитического расчета зон действия береговых станций автоматизированных идентификационных систем (БС АИС). Это обусловлено необходимостью учета вероятностных зависимостей в каналах связи между БС и судовым транспондером, влиянием на процесс передачи сигнала заграждающего рельефа между БС и судном, а также процесса перемещения судна с транспондером относительно указанной станции.

В таблице представлены наиболее употребительные в настоящее время статистические модели для описания указанных трех вероятностных факторов.

Рассмотрим основные особенности количественного описания в таких моделях. Обратимся вначале к аналитическому учету особенностей УКВ-радиосигналов АИС.

В настоящее время сложилось вполне устойчивое представление [2], что в УКВ-радиосигналах, используемых на ВВП, в самом общем случае амплитудный коэффициент передачи μ может быть описан четырехпараметрической одномерной плотностью вероятности в виде (1):

$$W(\mu) = \frac{\mu}{\sigma_x \sigma_y} e^{-\frac{m_x^2 + \mu^2}{2\sigma_y^2}} - \frac{m_x^2}{2\sigma_x^2} \sum_{R=0}^{\infty} \frac{H_{2k}(\alpha)}{(2k)!! 2^R} \mu^R \left(\frac{\sigma_y}{m_y}\right)^R \left(\frac{1}{\sigma_x^2} - \frac{1}{\sigma_y^2}\right)^R I_k\left(\frac{\mu m_y}{\sigma_x^2}\right) \quad (1)$$

где $m_x, m_y, \sigma_x, \sigma_y$ - параметры распределения, причем m_x, m_y - математическое ожидание ортогональных компонент передаточной функции радиоканала;

σ_x^2, σ_y^2 - дисперсии ортогональных компонент;

$$\sigma_x^2 \leq \sigma_y^2; \sigma_x^2 / \sigma_y^2 < 1 \quad \alpha = m_x / \left(\sqrt{2\sigma_y^2} \sqrt{\frac{1}{\sigma_x^2} - \frac{1}{\sigma_y^2}} \right)$$

$I_k(\cdot)$ - модифицированная функция Бесселя первого рода k -го порядка;

$H_{2k}(\cdot)$ - полином Эрмита порядка $2k$ [3].

При выполнении условия $m_y = 0$, $p = \text{Im}x$ из этого выражения получаем трехпараметрическое распределение Бекмана:

$$W(\mu) = \frac{\mu}{\sigma_x \sigma_y} \exp\left(-\frac{\mu^2 + \mu_p^2}{2\sigma_x^2}\right) \sum_{R=0}^{\infty} \frac{(2R-1)!! (\sigma_y^2 - \sigma_x^2)^R}{R! 2^R \cdot \sigma_y^{2R} \cdot \mu_p^R} I_k\left(\frac{\mu \mu_p}{\sigma_x^2}\right) \quad (2)$$

фактор	А	В	С
	канал связи «БС – судовой транспондер»	заграждающий рельеф	перемещение транспондера относительно БС
1	четырёхпараметрическая модель	модель равномерного заграждающего рельефа	модель закона Максвелла
2	трехпараметрическая модель Бекмана	модель показательного закона	модель закона Релея
3	двухпараметрическая модель Райса	модель нормального закона	модель равномерного закона
4	однопараметрическая модель Релея		
5	модель канала с постоянными параметрами		

При симметрии канала по дисперсиям квадратурных составляющих ($\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$) получаем двухпараметрическую модель Райса:

$$W(\gamma) = \frac{\mu}{\sigma} \exp\left(-\frac{\mu^2 + \mu_p^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\mu \mu_p}{\sigma^2}\right), \mu \geq 0 \quad (3)$$

При отсутствии регулярной составляющей сигнала $\mu_p = 0$ имеет место модель распределения Релея [3]:

$$W(\gamma) = \frac{\mu}{\sigma} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}\right), \mu \geq 0 \quad (4)$$

Наконец, при $\mu = \text{const}$ используется модель канала с постоянными параметрами.

Далее при описании влияния заграждающего рельефа между БС и судовым транспондером используются различные модели для аналитических вероятностных зависимостей высот рельефа H . При этом наиболее часто употребляются равномерный, показательный и нормальный законы, весьма типичные для многих районов Европейской России.

Закон равномерной местности описывается следующей зависимостью (6): $W(H) = \alpha e^{-\alpha H}$

где H_{\max} и H_{\min} - соответственно максимальная и минимальная высоты заграждающего рельефа.

Показательный закон имеет вид (7): $W(H) = \alpha e^{-\alpha H}$

где α - параметр распределения, равный обычно 0,01 ? 0,5.

Для нормального закона модель представляется соотношением

$$W(H) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_H} \exp\left[-\frac{(H - m\omega^2)^2}{2\sigma_H^2}\right] \quad (8)$$

Наконец, на верность передачи сообщений в УКВ-радиоканалах АИС существенное влияние оказывают случайные расстояния R между судном (транспондером АИС) и БС.

Наиболее употребительны в этом случае модели, основанные на законе Максвелла [2]:

$$W(R) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$\text{где } \sigma^2 = \frac{\pi}{8} R^2$$

$$\text{а также законе Релея: } W(R) = \frac{R}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

и равномерном законе (11): $W(R) = 1/(R_{\max} - R_{\min})$

Для количественного описания вероятности приема цифровых сообщений в УКВ-радиоканалах АИС широко используются методы и оценки статистической теории помехоустойчивости в дискретных (цифровых) каналах [2].

В частности, весьма конструктивным здесь оказывается понятие вероятности ошибки поэлементного приема цифрового сообщения. В качестве исходной обычно используют вероятность ошибки поэлементного некогерентного приема в канале с постоянными параметрами, которая имеет вид:

$$p = 1/2 \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right) \quad (12)$$

где (13) $h^2 = P_c T / v^2$

Здесь P_c - мощность принимаемого полезного сигнала в канале только с флюктуационным шумом;

T - длительность элементарной посылки (1 или 0);

v^2 - спектральная плотность флюктуационного шума.

Это выражение нетрудно представить в форме [2]:

$$p = \frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{\chi}{R^4}\right\} \quad (14)$$

где R - расстояние между БС и судовым транспондером.

В соотношении (14) через χ обозначен энергетический параметр АИС-радиолинии (15):

$$\chi = \frac{P_T \cdot G_1 \eta_1 \cdot G_2 \eta_2 \cdot \lambda^2 \cdot (h_1^2 + h_0^2) \cdot (h_2^2 + h_0^2)}{2P_{\text{sens}} \cdot 10^{-12}} \quad (15)$$

где P_{sens} - минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника;

h_1 и h_2 - соответственно высоты подъема судовой и береговой антенн;

G_1 - коэффициент усиления антенны передатчика БС;

G_2 - коэффициент усиления антенны передатчика транспондера;

η_1 - КПД фидера, соединяющего передатчик и антенну БС;

η_2 - КПД фидера, соединяющего передатчик и антенну транспондера.

При построении АИС принципиально важной является задача оптимизации размеров зон действия БС. По-

скольку в АИС используются цифровые сообщения, то в качестве анализируемого на экстремум соотношения целесообразно выбрать $P_{\text{err}}^{\text{req}}$ - эквивалентную вероятность ошибки в приеме кодовой комбинации АИС-сообщения, в функции от R_c - среднего радиуса зоны действия БС.

Тогда оптимальный радиус зоны действия береговой станции АИС можно определить по формуле:

$$R_c^{\text{opt}} = \text{arg} \min p_{\text{err}}(R) \quad (16)$$

В дальнейшем, для упрощения, ограничимся достаточно важным для конкретных приложений случаем, когда дополнительное кодирование отсутствует. Поскольку обычно $P_{\text{err}}(R)$ имеет монотонный характер, то задача (16) сводится к отысканию такого граничного значения радиуса зоны действия БС, когда имеет место:

$$R_c^{\text{opt}} = \text{arg} [p_{\text{err}}(R) \leq p_{\text{req}}] \quad (17)$$

где $p_{\text{req}} \leq 10^{-4} \div 10^{-6}$ - требуемая вероятность ошибки.

При учете замираний уровней сигналов в каналах радиосвязи, загрязняющего рельефа и перемещения транспондера относительно БС вероятность приема в (17) оценивается вероятностью ошибки, представляемой в форме:

$$p_{\text{err}}(R) = \int_{G(\mu)} \int_{G(R)} \int_{G(H)} p(h^2) W(\mu) W(H) W(R) d\mu dH dR \quad (18)$$

где $W(\mu)$ - определяется с каким-либо из соотношений для амплитудного коэффициента передачи (1 - 5);

$W(R)$ - плотность вероятности перемещения транспондера судна относительно БС, определяемая равномерным Релеевским или Максвелловским законом плотности вероятности (9 - 11);

$W(H)$ - плотности вероятности для высот загрязняющего рельефа, определяемые формулами (6 - 8);

$G(\mu)$, $G(R)$, $G(H)$ - области, определяемые амплитудным коэффициентом μ , расстоянием R и высотой H соответственно.

Конкретные примеры расчета по формулам (17) и (18) требуемого радиуса зон действия БС АИС, имеющие самостоятельное прикладное значение, составят предмет отдельных сообщений.

В рамках настоящей статьи осветим весьма важный практический пример применения Максвелловского закона плотности вероятности (9) распределения расстояния R между судовыми транспондерами и базовыми станциями АИС. Будем также полагать, что выполняется условие (5) - отсутствие замираний сигналов, отсутствие взаимных помех в канале между БС и транспондером АИС, а также ситуацию "ровной поверхности", когда выполняется условие $H = \text{const}$.

Тогда согласно формулам (9), (18) (14) и (15) получим, что вероятность ошибки при передаче элементов цифрового сигнала определяется выражением

$$p_{\text{err}} = \int_{R \in (R)} p_{\text{err}}(R) W(R) dR \quad (19)$$

$$\text{где } W(R) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{R}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right), \sigma^2 = \frac{\pi}{8} R^2 \quad (20)$$

$$p_{err}(R) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\chi}{R^4}\right) \quad (21)$$

- вероятность ошибки поэлементного некогерентного приема при наличии только флюктуационных шумов в канале связи без замираний.

Интегрируя в (9), получим (22)

$$p_{err} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{4\sigma^3} \cdot \int_0^{\infty} y^2 \cdot \exp\left(-\frac{\chi}{y^2} - \frac{y}{2\sigma^2}\right) dy \quad (22)$$

или, окончательно (23):

$$p_{err} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\chi^{\frac{1}{4}}}{R^3} \cdot \int_0^{\infty} y^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{1}{y^2} + \frac{4\sqrt{\chi}}{\pi R^2} y\right)\right] dy \quad (23)$$

На рис. 1 представлены графики итогов расчета по формуле (18) зависимостей p_{err} от R при следующих условиях: рассматриваются две береговые базовые станции АИС с высотами установки антенн 48 и 60 м; мощность судового транспондера - 2 Вт; частота излучения - 161,975 МГц; $h_0 = 5$ м - для средних условий почвы.

Как видно из рисунка, при $p_{req} \leq 10^{-4}$, $R^{opt} \approx 12,2$ и $13,7$ км соответственно для двух береговых станций АИС.

На рис. 2 согласно полученному решению представлены зоны действия АИС при расположении БС на Неве в двух выбранных пунктах с целью перекрыть акваторию реки в черте Санкт-Петербурга и обеспечить работу АИС

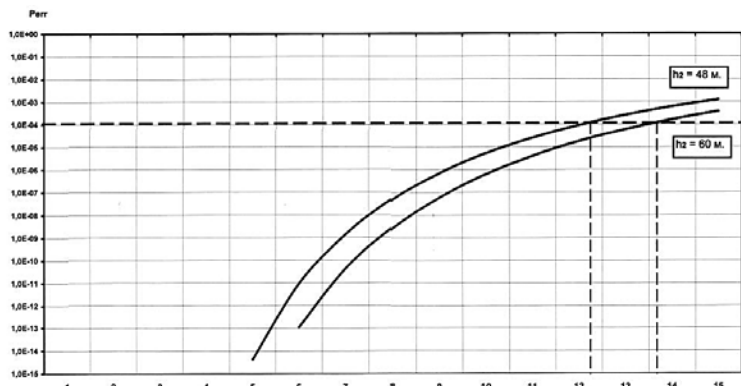


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки приема от расстояния между корреспондентами и высоты антенны базовой станции АИС

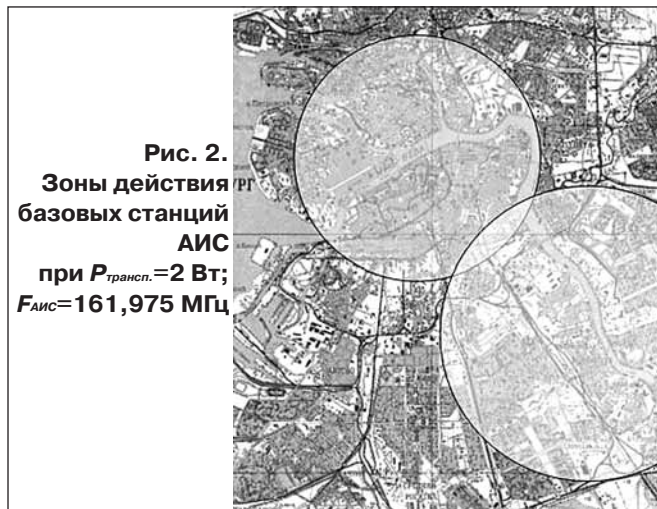


Рис. 2. Зоны действия базовых станций АИС при $P_{трансп.} = 2$ Вт; $F_{АИС} = 161,975$ МГц

для управления движением судов в разводные пролеты невских мостов.

Исследованные качественные и количественные закономерности для АИС вскрывают их специфические особенности и подтверждают весьма высокую эффективность предлагаемой методики для оценки возможностей систем при использовании в рамках речных региональных структур типа "Речные информационные службы".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродский Е.Л., Сикарев А.А., Холин А.В. Современные аспекты развития автоматизированных идентификационных систем в речных АСУДС// Межвузовский сборник научно-технических трудов "Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних водных путях"/ Под ред. проф. Сикарева А.А. - Вып. 4. - СПб.: СПГУВК, 2003. - С. 43-48.
2. Доровских А.В., Сикарев А.А. Сети связи с подвижными объектами - Киев: Техника, 1989.
3. Янке Е., Эмде Ф, Леш Ф. Специальные функции. - М.: Наука, 1964.

КОМФОРТ

индивидуальный
подход к клиенту

журнал для специалистов
ИНФОРМОСТ
радиоэлектроника и телекоммуникации

www.informost.ru