

УДК 681.883

© С. П. Абаренов, В. Г. Арсентьев, Г. И. Криволапов, 2014

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск
krivolapov@sibsutis.ru

О ВЫБОРЕ ЧАСТОТНЫХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Оцениваются энергетические показатели передачи дискретных сигналов с малой базой по гидроакустическим линиям связи частотного диапазона 10—60 кГц с применением в качестве обобщенного показателя эффективности удельных затрат энергии на передачу 1 бита информации. Получены оценки минимального времени доставки сообщений по гидроакустическим линиям связи с ретрансляцией.

Ключевые слова: интегрированные системы подводного наблюдения, гидроакустические информационно-управляющие сети связи, ретрансляция информационных пакетов, энергетические затраты на передачу, время доставки сообщения между узлами сети.

По современным воззрениям охрана и оборона значимых акваторий может обеспечиваться на основе их постоянного контроля с применением интегрированных систем подводного наблюдения (ИСПН). Основу ИСПН составляют подводные сенсорные системы (ПСС) и подводные, прежде всего, гидроакустические информационно-управляющие сети связи (ГИУС). Важной частью ИСПН являются системы межсредного обмена (шлюзы), обеспечивающие интеграцию ИСПН в наземные и космические сети связи, через которые может осуществляться взаимодействие с удаленными центрами управления и сбора информации, а также с другими ИСПН.

Контролю подлежат акватории площадью, по некоторым оценкам, в тысячи и десятки тысяч квадратных километров. Поэтому на этапе проектирования и развертывания ИСПН, кроме определения необходимого количества сенсоров в составе подводной сенсорной сети, обеспечивающих обнаружение «события» на акватории, необходимо иметь оценки основных показателей ГИУС, характеризующих доставку сообщения об обнаружении «события» от сенсоров ПСС в заданную точку акватории, например, к межсредному шлюзу для подключения к наземным и космическим сетям связи.

В настоящей работе анализируются показатели физического уровня ГИУС, уровня гидроакустической линии связи. На примере упрощенной модели ГИУС без привязки к конкретным алгоритмам маршрутизации и методам защиты от ошибок, с позиций оценки энергетических показателей линии связи, осуществляется выбор рабочих частот и расстояний между узлами сети. Предполагается, что гидроакустическая информационно-управляющая сеть связи состоит из унифицированных модулей гидроакустической связи (ГАС), которые размещаются в местах установки соответствующих сенсоров ПСС. При обнаружении каким-либо сенсором «события» из совмещенного с ним модуля ГАС передается соответствующий информационный пакет. Передача информационных пакетов в ГИУС базируется на принципах гидрорелейной связи, в которой модули ГАС, расположенные вблизи соответствующих сенсоров, играют роль сетевых узлов ГИУС и могут выполнять функции ретрансляции информационных пакетов между соседними узлами сети.

Минимальное время передачи информации по гидроакустическому каналу связи с K ретрансляционными участками оценивается значением:

$$T_{\min K} = \sum_{i=1}^K \left(\frac{L_i}{c_i} + \frac{n_{ip}}{V_i} \right), \quad (1)$$

где i — номер ретрансляционного участка; L_i — длина i -го ретрансляционного участка; c_i — средняя величина скорости звука в воде на i -м ретрансляционном участке; n_{ip} — количество символов информационного пакета, передаваемого через i -й ретрансляционный участок; V_i — скорость передачи (символов/в секунду) информационного пакета на i -ом ретрансляционном участке; K — количество ретрансляционных участков, через которые последовательно передаются по гидроакустическому каналу связи информационные пакеты между двумя произвольными узлами сети.

Оценка (1) получена в предположении, что суммарные затраты времени на генерацию $T_{i \text{ ген}}$ и прием информационных пакетов $T_{i \text{ прм}}$ в пределах i -го ретрансляционного участка пренебрежимо малы по сравнению с длительностью соответствующего информационного пакета $\frac{n_{ip}}{V_i}$; $(T_{i \text{ ген}} + T_{i \text{ прм}}) \ll \frac{n_{ip}}{V_i}$. Подобное допущение справедливо в боль-

шинстве встречающихся на практике случаев передачи сигналов по гидроакустическим линиям связи, так как при реализации аппаратуры связи на современной элементной базе генерация и прием информационных пакетов модулями ГАС осуществляется практически в режиме реального времени без дополнительных временных затрат. Если суммарные затраты времени на генерацию $T_{i \text{ ген}}$ и прием информационных пакетов $T_{i \text{ прм}}$ достигают ощутимых значений, то их необходимо учесть путем введения в выражение (1) соответствующих слагаемых. Введение такой поправки не влияет коренным образом на получение оценок показателей физического уровня ГИУС, поэтому последующий анализ выполняется без учета затрат времени на генерацию и прием информационных пакетов.

Если принять, что на всей акватории, контролируемой ИСПН, скорость звука в воде постоянна и равна $c = 1500$ м/с, а по всем ретрансляционным участкам передаются пакеты одинаковой длины n_p с одинаковой скоростью передачи V , то выражение (1) примет вид:

$$T_{\min K} = \frac{1}{c} \cdot \sum_{i=1}^K L_i + \frac{K \cdot n_p}{V}. \quad (2)$$

Как видно из выражения (2), определяющего минимальные затраты времени на доставку информации по гидроакустическому каналу связи о зафиксированном «событии», первое слагаемое $\frac{1}{c} \cdot \sum_{i=1}^K L_i$ характеризует время распространения сигнала по трассе между

источником и получателем информации, а второе слагаемое $\frac{K \cdot n_p}{V}$ соответствует длительности информационных пакетов, передаваемых по K ретрансляционным участкам. Поэтому для уменьшения времени доставки информационных пакетов между узлами ГИУС следует по возможности выбирать маршруты с наименьшим количеством ретрансляционных участков. При этом может быть уменьшена суммарная протяженность трассы $\sum_{i=1}^K L_i$ и, следовательно, пропорционально уменьшено количество передаваемых информационных пакетов K . Полезно для уменьшения времени доставки сообщения в

сети также повышать скорость передачи V , которая может быть увеличена путем расширения полосы пропускания канала связи Δf . Так как Δf пропорциональна рабочей частоте ретрансляционного участка ГИУС f_0 , то следует ожидать, что скорость передачи V должна расти с увеличением рабочей частоты f_0 , то есть $V \sim f_0$. Уменьшение времени доставки сообщений может быть достигнуто также за счет уменьшения количества ретрансляционных участков вдоль трассы путем увеличения их протяженности L_i . Однако при увеличении протяженности ретрансляционных участков следует снижать рабочую частоту f_0 . Возникающее при этом противоречие требует сравнительной оценки энергетических показателей передачи в пределах одного ретрансляционного участка в различных частях рабочего частотного диапазона ГИУС.

Упрощенная оценка энергетических показателей ГИУС производится для случая безграничной среды, что в первом приближении можно характеризовать моделью удаленной от берега подводной гидроакустической линии связи. При этом считается, что в линии пренебрежимо мало воздействие доплеровской помехи и многолучевости, а на сигнал воздействуют только аддитивные шумы.

Известно, что пропускная способность C непрерывного канала связи с белым шумом со спектральной плотностью мощности N_0 равна [1]:

$$C = \Delta f \cdot \log \left(1 + \frac{\overline{P_s(t)}}{N_0 \cdot \Delta f} \right), \quad (3)$$

где Δf — полоса пропускания канала, в рассматриваемом случае полоса пропускания линии связи; $\overline{P_s(t)}$ — средняя мощность сигнала на входе приемника.

Если в линии связи действует окрашенный шум со спектральной плотностью $G(f)$, то ему может быть поставлен в соответствие некоторый эквивалентный квазибелый шум с равномерной спектральной плотностью N_0 в полосе частот канала Δf , для которого:

$$N_0 \cdot \Delta f = \int_{\Delta f} G(f) df. \quad (4)$$

Для повышения пропускной способности гидроакустической линии связи C и, следовательно, скорости передачи в ней V следует расширять полосу пропускания линии Δf и увеличивать отношение сигнал/шум на входе приемника.

Воспользуемся известным общим уравнением гидролокации [2], заменив в нем порог обнаружения на требуемое отношение сигнал/шум h_0^2 на входе приемника:

$$20 \cdot \lg(h_0) = U_{\text{и}} + K_{\text{к}} + K_{\text{н}} - 20 \cdot \lg(r) - \beta \cdot r - U_{\text{ш}} - 6, \quad (5)$$

где $U_{\text{и}}$ — уровень излучаемого сигнала; $K_{\text{к}}$ — коэффициент концентрации передающей антенны; $K_{\text{н}}$ — коэффициент направленного действия приемной антенны; β — коэффициент, учитывающий потери энергии сигнала в среде распространения за счет поглощения; r — расстояние между передатчиком и приемником; $U_{\text{ш}}$ — уровень шумов на входе приемника.

В выражении (5) учитывается уменьшение уровня сигнала на 6 дБ при его излучении и приеме с направлений, соответствующим границам диаграмм направленности пе-

редающей и приемной антенн. Уровни сигнала и шумов выражаются в относительных единицах к уровню плоской волны с давлением 1 мкПа.

Уровень излучения при этом может быть определен из выражения:

$$U_{\text{и}} = 170.8 + 10 \cdot \lg(P_{\text{и}}), \quad (6)$$

где $P_{\text{и}}$ — излучаемая акустическая мощность, Вт.

Для оценки коэффициента затухания акустических колебаний в морской среде воспользуемся известным эмпирическим выражением [3]:

$$\beta \approx 3.6 \cdot 10^{-5} \cdot f_0^{1.5}, \quad \text{дБ/м}, \quad (7)$$

где f_0 — частота, выраженная в кГц.

Для передачи информации в гидроакустических сетях связи представляет интерес использование участка спектра частот от 10 кГц и выше, приблизительно до частоты 60 кГц, где наблюдается снижение шумов судоходства и интенсивности шумов океана. В указанном частотном диапазоне уменьшаются массогабаритные характеристики гидроакустических антенн, что важно при реализации ГИУС на основе малогабаритных, относительно дешевых, малозумящих и энергоэффективных унифицированных модулей ГАС, в которых, как будет показано ниже, могут достигаться относительно высокие скорости передачи V . Дальнейшее расширение частотного диапазона в сторону верхних частот во многих случаях может не обеспечить достижение ожидаемого эффекта в силу ряда причин. Прежде всего, вследствие высокого значения коэффициента пространственного затухания, роста уровня шумов моря [2], кроме того, при современном состоянии элементной базы становится проблематичным построение входных устройств модулей ГАС с использованием малозумящих, малопотребляющих и дешевых операционных усилителей.

Поскольку ширина спектра передаваемых сигналов ограничивается частотными характеристиками применяемых гидроакустических антенн, считаем, что в системе применяются антенны с шириной полосы пропускания на уровне 10 % от центральной частоты f_0 , тогда ширина полосы частот сигнала $\Delta f = 0.1 \cdot f_0$. Примем также, что максимальный спектральный уровень шума на частоте 10 кГц составляет 50 дБ относительно 1 мкПа (волнение 6 баллов) и спад спектрального уровня шумов в рассматриваемом частотном диапазоне с увеличением рабочей частоты составляет 6 дБ на октаву [2].

В силу малости Δf относительно f_0 для определения уровня шумов $U_{\text{ш}}$ в полосе частот Δf можно воспользоваться приближенным соотношением:

$$U_{\text{ш}} \approx 50 - 20 \cdot \lg(f_0 / 10) + 20 + 10 \cdot \lg(f_0), \quad (8)$$

где слагаемое $20 \cdot \lg(f_0 / 10)$ учитывает наклон частотной характеристики шумов моря 6 дБ/октаву относительно частоты 10 кГц, а слагаемым $20 + 10 \cdot \lg(f_0)$ осуществляется пересчет уровня шумов $U_{\text{ш}}$ к полосе $0.1 \cdot f_0$ Гц, при этом значение частоты f_0 в выражении (8) задается в кГц.

Условимся, что передача информации в гидроакустической линии связи осуществляется с использованием приемо-передающих гидроакустических антенн цилиндрической формы, имеющих 60-градусную диаграмму направленности в вертикальной плоскости и круговую в горизонтальной. У антенн с подобными характеристиками вертикальный размер приблизительно равен 0.85λ , а диаметр антенны — не более λ [4], здесь λ — длина

волны акустического сигнала. Площадь такой антенны S_a задается из выражения: $S_a = 0.85 \cdot \pi \cdot \lambda^2$, а коэффициент концентрации составляет приблизительно 3 дБ.

Выбор для рассмотрения подобных гидроакустических антенн осуществлен исходя из опыта работы с подобными системами. Широкая диаграмма направленности в вертикальной плоскости упрощает процедуру постановки модулей ГАС за счет уменьшения влияния на качество связи наклона антенны, возникающего из-за неровностей дна при постановке модулей на дно или влияния течений при размещении модулей в толще воды. Круговая диаграмма направленности в горизонтальной плоскости оптимизирует организацию информационного обмена с соседними узлами сети.

Максимальная мощность излучения антенны $P_{и\max}$ ограничена явлением кавитации на ее поверхности и оценивается величиной [2]:

$$P_{и\max} = 0.15[1 + 0.1(\sqrt{f} + z)]^2 10^4 S_a, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где z — глубина погружения антенны, м; в дальнейшем считаем $z = 10$ м.

Оценки величин максимальной мощности излучения $P_{и\max}$ и соответствующие им оценки максимального расстояния между передатчиком и приемником r_{\max} , при котором обеспечивается отношение сигнал/шум $h_{0\min}^2 = 15$ дБ, для ряда частот в диапазоне 10—60 кГц приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценки величин максимальной мощности излучения и расстояния между передатчиком и приемником

Рабочая частота f_0 , кГц	10	20	30	40	50	60
Максимальная мощность излучения $P_{и\max}$, Вт	478	133	64.2	38.5	26	19
Максимальное расстояние от передатчика r_{\max} , км	19.9	8.6	5.1	3.6	2.7	2.2

Важным обстоятельством для сравнительной оценки энергетической эффективности передачи на разных частотах является обобщенный показатель удельных затрат энергии при передаче одного бита информации на расстояние в 1 км, ζ_{EI} , который позволяет при задании одинаковых затрат энергии на передачу единицы информации повысить наглядность частотной зависимости при оценке энергетических характеристик:

$$\zeta_{EI} = \frac{P_{и}}{V \cdot r}, \quad (10)$$

где V — уже упоминавшаяся скорость передачи в линии связи.

Оценку удельных затрат энергии осуществим на примере передачи цифровой информации методом дискретной, бинарной фазовой модуляции, при которой скорость передачи в линии связи V приближенно равна полосе пропускания линии связи Δf , $V \approx \Delta f$. Полученные в соответствии с выражением (10) оценки удельных затрат энергии на передачу одного бита информации на расстояние в 1 км при работе с максимальной мощностью излучения $P_{и\max}$ приведены в табл. 2.

В задачах гидроакустики известна оценка оптимальной частоты $f_{\text{опт}}$ по критерию минимальных затрат энергии как функция от дальности связи в виде выражения [3]:

$$f_{\text{опт}} \approx \frac{62}{r^{2/3}}, \text{ кГц} \quad (11)$$

где r — дальность, км.

Из выражения (11) для заданного значения частоты может быть определено соответствующее оптимальное расстояние:

$$r_{\text{опт}} \approx (62 / f_0)^{1.5}. \quad (12)$$

В табл. 3 приведены оценки оптимального расстояния $r_{\text{опт}}$, соответствующие ему мощности излучения $P_{\text{и}}$, при которых обеспечивается отношение сигнал/шум $h_{0\text{min}}^2 = 15$ дБ, а также соответствующие этому случаю величины удельных затрат энергии на передачу одного бита информации $\zeta_{\text{Е1}}$ на расстояние 1 км.

Таблица 2

Оценки удельных затрат энергии на передачу одного бита информации на расстояние в 1 км при работе с максимальной мощностью излучения

Рабочая частота f_0 , кГц	10	20	30	40	50	60
Оценка удельных затрат энергии на передачу одного бита информации на расстояние в 1 км ($\zeta_{\text{Е1}}$), Дж/(бит·км)	$24 \cdot 10^{-3}$	$7.8 \cdot 10^{-3}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3

Оценки оптимального расстояния, соответствующие ему мощности излучения, при которых обеспечивается отношение сигнал/шум $h_{0\text{min}}^2 = 15$ дБ, и удельные затраты энергии на передачу одного бита информации на расстояние 1 км

Рабочая частота f_0 , кГц	10	20	30	40	50	60
Оптимальное расстояние $r_{\text{опт}}$, км	15.4	5.4	2.9	1.9	1.38	1.05
Мощность излучения $P_{\text{и}}$, Вт	80	5.4	1.0	0.33	0.15	0.07
Удельные затраты энергии на передачу одного бита информации на расстояние в 1 км ($\zeta_{\text{Е1}}$), Дж/(бит·км)	$52 \cdot 10^{-4}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$0.43 \cdot 10^{-4}$	$0.22 \cdot 10^{-4}$	$0.11 \cdot 10^{-4}$

Данные, приведенные в табл. 1—3, иллюстрируют известную нелинейную зависимость дальности связи r от мощности излучения $P_{\text{и}}$ и свидетельствуют об имеющейся тенденции к снижению удельных затрат энергии на передачу одного бита информации на 1 км расстояния $\zeta_{\text{Е1}}$ с увеличением рабочей частоты f_0 . Приведенные в табл. 3 данные характеризуют энергетические показатели передачи цифровой информации по гидроакустическим линиям связи и могут применяться для оценки энергетической эффективности реальных образцов аппаратуры гидроакустической связи.

Оценим, как изменятся мощность излучения $P_{\text{и}}$ и дальность связи r , если удельные затраты энергии на передачу одного бита информации на 1 км расстояния $\zeta_{\text{Е1}}$ при работе на разных частотах равны 0.1 мДж/(бит км). Соответствующие оценки представлены в табл. 4.

При передаче информации на разных рабочих частотах с одинаковыми удельными затратами энергии при передаче одного бита информации на расстояние в 1 км $\zeta_{\text{Е1}}$

уменьшается степень различия между расстояниями, на которых в гидроакустической линии связи достигается отношение сигнал/шум $h_0^2 = 15$ дБ. При этом одновременно снижается мощность излучения на низких частотах.

Таблица 4

Оценки мощности излучения и расстояния, на котором обеспечивается отношение сигнал/шум $h_0^2 = 15$ дБ, при $\zeta_{\text{ЕЛ}} \approx 0.1$ мДж/(бит км)

Рабочая частота f_0 , кГц	10	20	30	40	50	60
Мощность излучения $P_{\text{из}}$, Вт	0.47	0.79	0.82	0.92	0.93	0.96
Расстояние r , км	4.63	3.8	2.6	2.25	1.82	1.55

Количество ретрансляционных участков в гидрорелейной линии связи (ГРЛ) в зависимости от ее длины $\sum_{i=1}^K L_i$ и значения рабочей частоты ретрансляторов f_0 может быть задано выражением:

$$K(L, f_0) = \text{Integer} \left[\frac{1}{r(f_0)} \cdot \sum_{i=1}^K L_i + 0.5 \right], \quad (13)$$

где $\text{Integer}[x]$ — целая часть x (с округлением).

Рис. 1 иллюстрирует зависимость соответствующих оценок количества ретрансляционных участков в составе ГРЛ, полученных в предположении, что удельные затраты энергии на передачу одного бита информации на 1 км расстояния при работе на разных частотах постоянны и равны 0.1 мДж/(бит·км).

Используя выражение (13) и соотношение (2) получаем оценку минимальных затрат времени на доставку информационного пакета $T_{\text{min}K}$ по ГРЛ с $K(L, f_0)$ ретрансляционными участками.

На рис. 2 представлены кривые, соответствующие зависимости оценок минимальных затрат времени на доставку информационного пакета $T_{\text{min}K}$ по ГРЛ от ее длины для разных рабочих частот в предположении, что удельные затраты энергии на передачу одного бита информации на 1 км расстояния при работе на разных частотах постоянны и равны 0.1 мДж/(бит·км), а в линии передаются информационные пакеты длиной $n_p = 1000$ символов. Для сравнения на рисунке представлена зависимость времени распространения акустического сигнала от длины линии связи (кривая 7).

Рис. 2 представлен в виде номограммы. По правой ординате и кривой 7 отсчитывается время распространения акустического сигнала $\frac{1}{c} \cdot \sum_{i=1}^K L_i$ в гидрорелейной линии связи; по левой ординате и кривым 1—6 отсчитываются затраты времени на обработку и прием $K(L, f_0)$ информационных блоков (по числу ретрансляционных участков в ГРЛ). Полные затраты времени на передачу информационного пакета 1000 двоичных символов в сети с ретрансляцией численно равны сумме этих двух составляющих.

Из рис. 2 следует, что основные затраты времени на доставку сообщения в ГИУС определяются временем распространения акустического сигнала в гидрорелейной линии. Суммарное время на прием информационных пакетов ретрансляторами, составляющими ГРЛ, с увеличением рабочей частоты, несмотря на уменьшение длины ретрансляционных участков и увеличение количества ретрансляторов в линии, уменьшается. Парадоксальность результата объясняется тем, что перевод работы ГИУС в высокочастотную область

спектра сопровождается увеличением скорости передачи в гидроакустическом канале связи. Однако зависимость затрат времени на доставку информационного пакета $K(L, f_0)$ ретрансляторами в ГРЛ от рабочей частоты — нелинейная, что объясняется нелинейным характером зависимости потерь энергии сигнала от частоты и расстояния в гидроакустической линии связи. По этой причине минимальные затраты времени на доставку информационного пакета по ГРЛ $T_{\min K}$ с использованием акустических сигналов с рабочими частотами ниже 40 кГц зависят и от частоты сигнала f_0 , и от протяженности гидрорелейной линии связи $\sum_{i=1}^K L_i$. При использовании акустических сигналов из частотного диапазона 40—60 кГц зависимость минимальных затрат времени на доставку информационного пакета по ГРЛ от частоты меньше и также определяется протяженностью гидрорелейной линии связи $\sum_{i=1}^K L_i$.

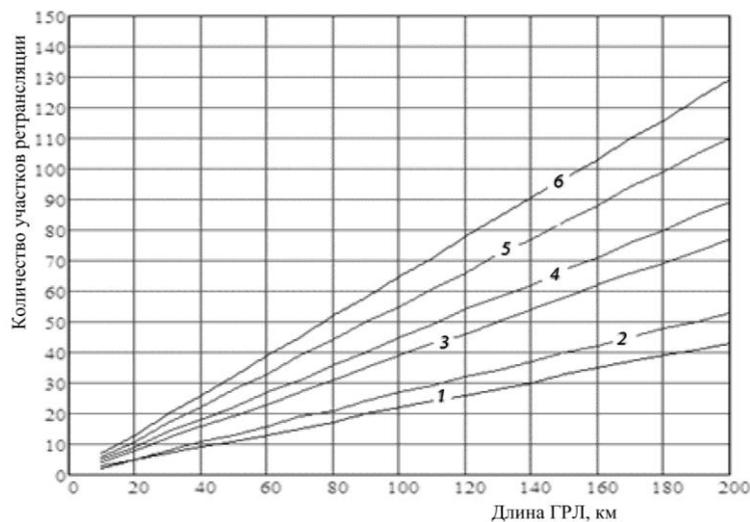


Рис. 1. Зависимость количества участков ретрансляции от длины ГРЛ и рабочей частоты.
 1 — $f_0 = 10$ кГц; 2 — $f_0 = 20$ кГц; 3 — $f_0 = 30$ кГц; 4 — $f_0 = 40$ кГц; 5 — $f_0 = 50$ кГц; 6 — $f_0 = 60$ кГц.

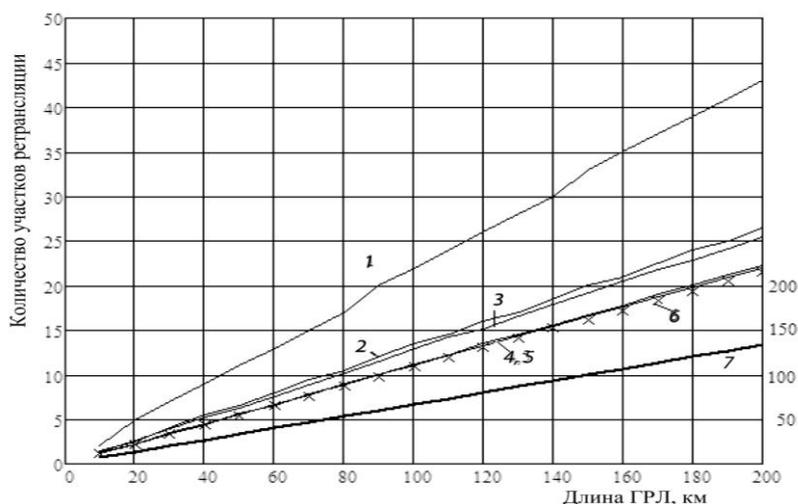


Рис. 2. Зависимость оценок минимальных затрат времени на доставку информационного пакета $T_{\min K}$ от длины ГРЛ для разных рабочих частот.

Обозначения те же, что и на рис. 1;
 7 — время распространения акустического сигнала в открытом пространстве.

Полученные результаты позволяют рекомендовать при развертывании интегрированных систем подводного наблюдения осуществлять информационный обмен по гидроакустическим каналам связи в высокочастотной области частотного диапазона. Это создает дополнительные предпосылки для увеличения энергетической скрытности работы сети, повышения устойчивости связи к действию межсимвольных и доплеровских помех, уменьшения массогабаритных характеристик ретрансляторов.

Литература

1. Зюко А. Г., Кловский Д. Д., Коржик В. И., Назаров М. В. Теория электрической связи: Учебник для вузов / Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь, 1999. 432 с.
2. Урик Р. Д. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
3. Евтюнов А. П., Митько В. Б. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике. Л.: Судостроение, 1981. 256 с. (Библиотека инженера-гидроакустика).
4. Свердлин Г. М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Л.: Судостроение, 1980. 232 с. (Библиотека инженера-гидроакустика).

Статья поступила в редакцию 30.05.2013 г.



S. P. Abarenov, V. G. Arsenyev, G. I. Krivolapov
Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Novosibirsk

Frequency and Spatial Parameters Selection of Hydroacoustic Information and Control Networks Based on Generalized Energy Indicators

The energy transmission rates of digital signals with a small base on communication lines sonar frequency range 10—60 kHz using as a criterion for the effectiveness of the specific energy consumption for transmitting one bit of information are evaluated. We obtain estimates of the minimum time delivery of messages by sonar lines retransmission.

Key words: integrated systems of underwater surveillance, hydroacoustic network, retransmission of data packets, energy transmission costs, message delivery time in the network.