

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 621. 396

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕТРАНСЛЯЦИОННОЙ ЛИНИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ*

Б.И. ФИЛИПPOB¹, А.А. РУДКОВСКИЙ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент, кандидат технических наук E-mail: filippov-boris@rambler.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студент кафедры защиты информации E-mail: rudkovskiyalex@gmail.com

Проектирование ретрансляционных линий начинается с выбора трасс. При этом учитываются проведенные технико-экономические изыскания, а также общие рекомендации по выбору трасс, связанные с обеспечением устойчивой связи на интервалах ретрансляционных линий. В работе рассматривается проектирование ретрансляционной линии с учетом особенностей гидроакустического канала связи. При заданных постоянных электрических характеристиках аппаратуры ретрансляционной линии сигнал на входе гидроакустического приемника станции ретранслятора будет определяться конкретными условиями распространения акустических волн. Снижение устойчивости уровня сигнала на интервалах ретрансляционных линий, т. е. уменьшение его среднего уровня и увеличение глубины и продолжительности замираний, обусловлено следующими факторами: искривлением траекторий акустических волн при изменении состояния гидросферы (придонного слоя); влиянием отражений от подстилающей поверхности; влиянием отражений от слоистых неоднородностей, возникающих в придонном слое. Неблагоприятными являются случаи прохождения трассы по равнинной поверхности, так как в этих условиях отраженный от дна луч по интенсивности соизмерим с прямым. Одним из способов уменьшения влияния отраженного луча является такое размещение ретрансляторов, при котором отраженный луч может полностью экранироваться естественными возвышенностями. Подобными же способами может быть достигнуто ослабление влияния отражений от слоистых неоднородностей. С этой точки зрения благоприятными являются трассы, проходящие по сильно пересеченной местности, так как образование резко выраженных низко расположенных горизонтальных слоев над такими трассами маловероятно. В работе приведен расчет множителя ослабления напряженности поля в месте приема и на открытых интервалах. Показано, что электрическая мощность, которая должна быть подведена к передающей антенне, равна 4 Вт, что вполне приемлемо.

* Статья получена 29 сентября 2017 г.

Ключевые слова: гидроакустический канал, многолучевое распространение волн, рельеф дна, гидроакустический ретранслятор, гидроакустическая радиорелейная линия, взаимные помехи, устойчивость сигнала приемника, множитель ослабления, электрическая мощность сигнала

DOI: 10.17212/2307-6879-2017-4-77-96

ВВЕДЕНИЕ

Как показывают экспериментальные исследования, статистические характеристики гидроакустических каналов связи (ГАКС) имеют свои аналоги в коротковолновых, УКВ и других радиоканалах с переменными параметрами. Поэтому разработанные для этих каналов принципы и методы могут быть использованы и в системах передачи информации, использующих ГАКС, конечно, с учетом специфических свойств распространения акустических сигналов в водной среде [2–12]. В работах [8, 10, 11] речь идет о моделировании гидроакустического канала, что в общем-то понятно, если учесть, что получение экспериментальных данных для таких каналов – весьма трудоемкая и затратная проблема.

Наибольший интерес представляет работа [9], которая в основном подтверждает результаты, полученные в исследованиях [2] (статистические характеристики сигналов и помех в гидроакустическом канале) и [12] (применение помехоустойчивого кодирования в таких каналах).

Проектирование ретрансляционных линий начинается с выбора трасс. Вначале проводится предварительный выбор трасс по топографическим картам. При этом учитываются проведенные технико-экономические изыскания, а также общие рекомендации по выбору трасс, связанные с обеспечением устойчивой связи на интервалах ретрансляционных линий.

Обычно рассматривается несколько вариантов, для которых производится расчет. Общей задачей такого расчета является определение качественных показателей работы ретрансляционных линий и выбор наилучшего варианта. Последний должен характеризоваться наименьшим числом промежуточных станций, наибольшей длиной интервалов между станциями, устойчивостью связи, наименьшими высотами антенных опор, удобством расположения станций и пр.

Методика расчета трасс наземных радиорелейных линий (РРЛ) довольно полно разработана для случая, когда трасса проходит над ровной или холмистой местностью с учетом изменения метеорологических условий на трассе [1].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЕ

При заданных постоянных электрических характеристиках аппаратуры ретрансляционной линии сигнал на входе гидроакустического приемника станции ретранслятора будет определяться конкретными условиями распространения акустических волн. Снижение устойчивости уровня сигнала на интервалах ретрансляционных линий, т. е. уменьшение его среднего уровня и увеличение глубины и продолжительности замираний, обусловлено следующими факторами [2, 13]:

- искривлением траекторий акустических волн при изменении состояния гидросферы (придонного слоя);
- влиянием отражений от подстилающей поверхности;
- влиянием отражений от слоистых неоднородностей, возникающих в придонном слое.

С целью уменьшения влияния поверхности Земли (дна) и окружающего придонного слоя на устойчивость уровня сигнала в месте приема при выборе трасс нужно учитывать следующие обстоятельства.

В качестве подстилающей поверхности (дна), ослабляющей отраженный сигнал в месте приема за счет его рассеяния, благоприятным является изрезанный рельеф дна. Отраженный луч сильно рассеян, иногда и полностью экранирован в «гористой местности». Иными словами, благоприятными условиями можно считать такие, при которых трасса проходит по сильно пересеченной поверхности дна.

Неблагоприятными же являются случаи прохождения трассы по равнинной поверхности, так как в этих условиях отраженный от дна луч по интенсивности соизмерим с прямым.

В случае прохождения трассы ретрансляционной линии над ровной поверхностью рекомендуется располагать антенны ретрансляторов на разных уровнях. Это приводит к перемещению точки отражения ближе к низко расположенной станции, что соответствует уменьшению относительной координаты отражения, а значит, и меньшему изменению просвета на данном интервале [1].

Одним из способов уменьшения влияния отраженного луча является такое размещение ретрансляторов, при котором отраженный луч может полностью экранироваться естественными возвышенностями.

Подобными же способами может быть достигнуто ослабление влияния отражений от слоистых неоднородностей. С этой точки зрения благоприятными являются трассы, проходящие по сильно пересеченной местности, так как образование резко выраженных низко расположенных горизонтальных слоев над такими трассами маловероятно.

На устойчивость входного сигнала приемника ретранслятора влияют помехи, обусловленные мешающим действием сигналов самой ретрансляционной линии или сигналов других систем, частоты которых близки к частотам сигналов данной ретрансляционной линии. Причинами возникновения помех от самой ретрансляционной линии являются [14]:

- во-первых, недостаточное ослабление сигналов, приходящих с противоположного направления при работе ретрансляционной линии по двухчастотному плану распределения рабочих частот;

- во-вторых, возможны взаимные помехи между отдельными станциями ретрансляционной линии, так как не исключается прием сигналов не только от предыдущей станции, но и от других ретрансляторов.

Для борьбы с помехами второго вида при проектировании радиорелейных линий прямой видимости осуществляют изломы в направлении трассы РРЛ. Иными словами, трассу делают «зигзагообразной». Это исключает взаимные помехи от станций, расположенных через несколько интервалов. Однако в разрабатываемой системе реализация этого принципа проблематична.

2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Построение продольных профилей интервалов гидроакустической радиорелейной линии (ГРЛ) производится с помощью топографических карт после предварительного выбора трассы. Для удобства профили трассы вычерчивают в прямоугольных координатах, откладывая расстояния по оси абсцисс, а высоты – по оси ординат. Чтобы сохранить соответствие построенных на профиле высот показаниям карты, необходимо производить отсчет высот от уровня моря (или любого условного нулевого уровня). При выбранной системе координат линия, изображающая на профиле уровень моря, имеет вид параболы, уравнение которой

$$z = \frac{r_0 r}{2R} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right),$$

где r_0 – протяженность интервала; r – расстояние от левого конца интервала до точки, в которой определяют величину z ; R – радиус Земли.

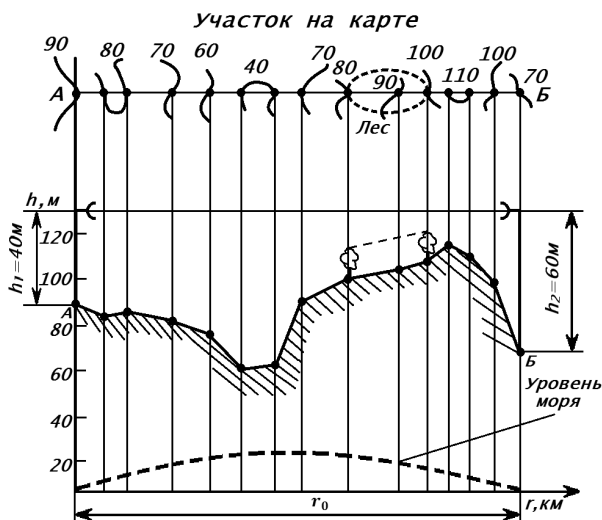


Рис. 1. Пример построения продольного профиля

Продольный профиль интервала строится относительно полученной таким образом линии земной поверхности. При этом по вертикали наносят значения высот местности, взятые из топографической карты в точках пересечения прямой АБ с горизонталями, и соединяют их прямыми линиями. Полученная ломаная линия и является продольным профилем интервала между пунктами А и Б (рис. 1).

3. РАСЧЕТ МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ

При определении напряженности поля в месте приема на интервалах ретрансляционных линий необходимо учитывать, что в рассматриваемой системе гидроакустические волны будут распространяться вблизи неровной поверхности дна. При этом напряженность поля в месте приема в реальных условиях распространения этих волн

$$E = E_{\text{св}} V,$$

где $E_{\text{св}}$ – напряженность поля в месте приема при распространении в свободном пространстве; V – множитель ослабления, учитывающий влияние донного слоя и окружающей гидросферы на распространение гидроакустических волн.

Поле в месте приема является результатом интерференции прямой волны, излученной передающей антенной в направлении распространения, и волн, отраженных от дна, и зависит от разности хода указанных волн и характера рельефа местности и почвы. Многообразие реальных природных условий не позволяет создать строгие методы расчета напряженности поля, поэтому при проектировании трасс ретрансляционных линий пользуются приближенными методами, которые дают результаты с точностью, достаточной для инженерной практики.

Для учета характера рельефа местности при расчете напряженности поля на интервалах ретрансляционных линий их классифицируют на открытые, полукрытые и закрытые. Основным параметром этой классификации служит величина зазора (или просвета) H между линией прямого луча АВ и наивысшей точкой продольного профиля местности (рис. 2).

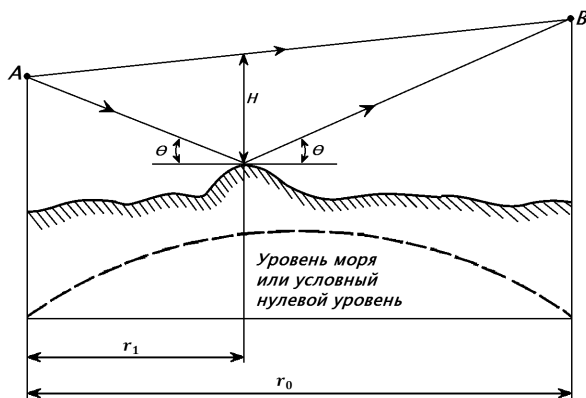


Рис. 2. Построение на профиле интервала для расчета напряженности поля

Эта величина, как следует из простого геометрического рассмотрения, определяет разность хода Δr прямого АВ и отраженного лучей в соответствии с формулой

$$\Delta r = \frac{H^2}{2r_0k(1-k)}, \quad (1)$$

где r_0 – протяженность участка РРЛ; $k = r_1 / r_0$ – относительная координата точки отражения.

Как известно, при выполнении условия

$$\Delta r = \lambda / 6$$

отраженный луч не ослабляет поле прямого луча. Множитель ослабления при этом $V = 1$ и $E = E_{\text{св}}$.

Из соотношения (1) видно, что величина зазора H , соответствующая этому случаю, для рабочей длины волны λ равна

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} r_0 \lambda k (1 - k)}. \quad (2)$$

Для различных интервалов выполняются следующие соотношения:

- открытых – $H > H_0$;
- полуоткрытых – $H_0 > H > 0$;
- закрытых – $H < 0$.

4. РАСЧЕТ МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ИНТЕРВАЛАХ

Напряженность поля на открытых интервалах определяется условиями интерференции прямой волны и одной или нескольких отраженных от донной поверхности волн. Положение точек отражения находится из условия равенства углов между касательными к профилю в данной точке и прямыми, соединяющими эту точку с точками передачи и приема (рис. 3).

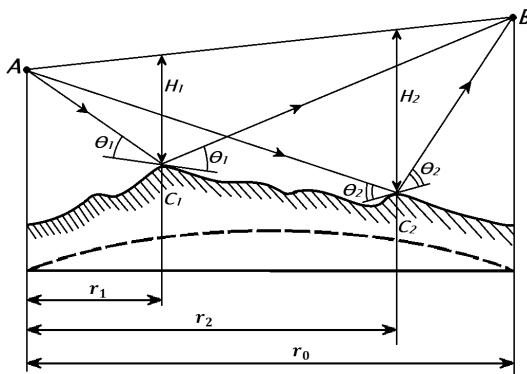


Рис. 3. Построения на профиле интервала при расчете множителя ослабления

Если на интервале имеется n точек отражения, то модуль множителя ослабления на такой трассе можно представить в виде

$$|V| = \sqrt{(1 + \sum |\Phi_i| \cos \gamma_i)^2 + (\sum |\Phi_i| \sin \gamma_i)^2}, \quad (3)$$

где $|\Phi_i|$ – модуль коэффициента отражения в i -й точке; γ_i – фазовый сдвиг между прямой и i -й отраженной волнами, равный

$$\gamma_i = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r_i + \beta_i, \quad (4)$$

где Δr_i – разность хода между указанными волнами, определяемая выражением (2); β_i – фаза коэффициента отражения волны в i -й точке.

Принято считать, что отражение становится диффузным, если в пределах половины первой зоны Френеля высота неровностей поверхности (выступ) Δh удовлетворяет критерию Рэлея:

$$\Delta h > \Delta h_{\max} = \frac{r_0 \lambda k_1 (1 - k_1)}{(4 \div 8) H_i}.$$

Размеры эллипса, вырезаемого половиной первой зоны Френеля на отражающей поверхности, определяются по формулам:

в направлении трассы

$$x = \frac{r_0}{2} \frac{\sqrt{1 + \frac{4h_1 h_2}{\lambda r_0}}}{1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{\lambda r_0}};$$

в направлении поперек трассы

$$y = \frac{\sqrt{\lambda r_0}}{2} \sqrt{\frac{1 + \frac{4h_1 h_2}{\lambda r_0}}{1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{\lambda r_0}}},$$

где h_1, h_2 – высоты подвеса антенн на концах интервала.

При $\Delta h \leq \Delta h_{\max}$ отражение можно считать зеркальным. При этом модуль коэффициента отражения равен значениям $|\Phi|$ при отражении от гладкой поверхности. Фазу коэффициента отражения β можно принять равной 180° , так как углы скольжения θ всегда малы.

Если отражающая поверхность имеет гладкую выпуклую форму и может быть аппроксимирована частью сферы радиуса b , то модуль коэффициента отражения уменьшается за счет расходимости отраженной волны согласно выражению

$$|\Phi| = D |\Phi_{\text{пл}}|,$$

где $|\Phi_{\text{пл}}|$ – коэффициент отражения от плоской поверхности; D – коэффициент расходимости, равный

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4k_i^2(1-k_i)^2 r_0^2}{bH_i}}}. \quad (5)$$

При этом радиус аппроксимирующей сферы b вычисляют с помощью величин Δy и r , определяемых из профиля (рис. 4).

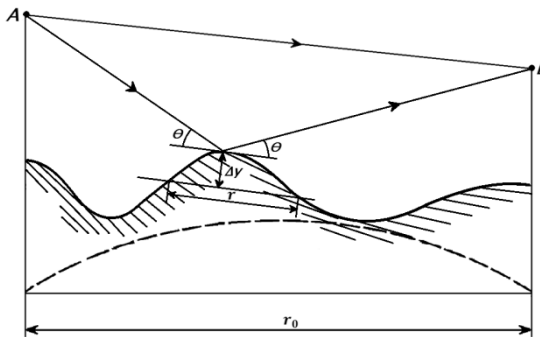


Рис. 4. Определение величин Δy и r

Пользуясь известным соотношением между высотой сегмента Δy окружности радиуса b и соответствующей ему хордой r

$$b = \frac{r^2}{\Delta y}$$

и подставляя это соотношение в (5), получим

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{32k_i^2(1-k_i)^2\Delta y}{l^2 H_i}}}, \quad (6)$$

где $l = r / r_0$.

В большинстве случаев в реальных условиях встречаются трассы с одной точкой отражения. Для них согласно формуле (3) выражение для множителя ослабления примет вид

$$|V| = \sqrt{1 + |\Phi|^2 + 2|\Phi|\cos\gamma}. \quad (7)$$

Вводя относительную величину зазора

$$p = \frac{H}{H_0},$$

используя формулы (1), (2), (4) и принимая $\beta = 180^\circ$, выражение (6) принимает вид

$$|V| = \sqrt{1 + |\Phi|^2 - 2|\Phi|\cos\left(\frac{\pi p^2}{3}\right)}. \quad (8)$$

Из этой формулы следует, что изменение величины относительного зазора приводит к интерференционному изменению величины множителя ослабления в пределах от

$$|V_m| = 1 + |\Phi_m| \quad \text{при} \quad p = p_m = \sqrt{3(2m-1)}$$

до

$$|V_n| = 1 - |\Phi_n| \quad \text{при} \quad p = p_n = \sqrt{6n}, \quad (9)$$

где $m, n = 1, 2, 3$ и т. д.

В первом случае имеют место интерференционные максимумы множителя ослабления, так как сигналы прямой и отраженной волн складываются в фазе; во втором случае – интерференционные минимумы, так как сигналы приходят в противофазе. При $p = 1$, т. е. $H = H_0$, множитель ослабления $|V| = 1$ [1].

Так как значения $|\Phi|$ могут быть близки к единице (например, при отражении от гладкой поверхности), то согласно выражению (9) возможно появление глубокого минимума поля, когда $|I| \approx 0$. В этом случае необходимо более точное вычисление $|\Phi_n|$. Для этого в выражение (6) подставляем величину зазора, соответствующую p_n :

$$D_n = \frac{1}{\sqrt{1 + 13,1 \frac{\Delta y k^2 (1-k)^2}{H_0 t^2 \sqrt{n}}}}.$$

Как показывает соотношение (8), единственным источником изменения множителя ослабления является величина зазора H , которая определяется высотами подъема передающей и приемной антенн. Причиной изменения H (при определенных h_1 и h_2) является изменение придонных условий и связанное с ним изменение рефракции акустических волн. Поэтому одна из задач проектирования трассы ретрансляционной линии состоит в том, чтобы выбрать такие оптимальные высоты антенн $h_{1\text{опт}}$ и $h_{2\text{опт}}$, при которых при любых изменениях придонных условий уровень сигнала не падал бы ниже минимально допустимого уровня в течение заданного времени.

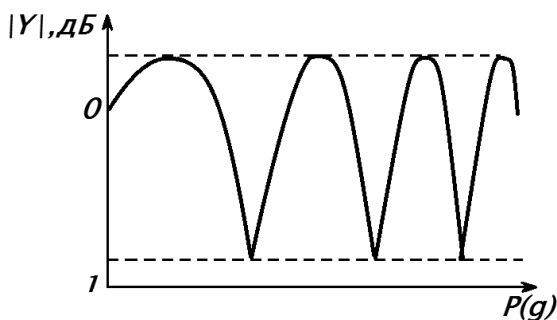


Рис. 5. Зависимость изменения $|Y|$ от относительной величины просвета

Из формулы (8) следует, что величина модуля множителя ослабления $|Y|$ может изменяться в значительных пределах при изменении придонных условий на интервале. При этом зависимость множителя ослабления от величины $p(g)$ на открытых интервалах носит интерференционный характер (рис. 5).

5. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА НА ИНТЕРВАЛАХ РЕТРАНСЛЯЦИОННЫХ ЛИНИЙ

При проектировании ретрансляционных линий обычно рассчитываются средние значения мощности сигналов на входах приемников $P_{\text{пм}}$ всех интервалов линии, точнее, мощности при среднем значении состояния придонного слоя.

При этом следует иметь в виду, что на практике средние расчетные значения мощности сигналов должны сравниваться со значениями, измеренными в часы, когда наиболее вероятны средние условия состояния придонного слоя.

Средняя мощность сигнала $P_{\text{пм}}$ является важным параметром, позволяющим оценить точность юстировки антенн, состояние антенно-волноводного тракта и соответствие его потерь нормативным параметрам, а также правильность исходного профиля трассы.

Важным параметром, характеризующим помехоустойчивость ретрансляционных линий, является пороговый уровень мощности сигнала на входе приемника $P_{\text{пм пор}}$. При этом уровне обеспечивается максимальная нормируемая величина коэффициента ошибок $p_{\text{ош max}}$. Знание и поддержание в заданных нормах среднего и порогового уровней сигнала позволяет в эксплуатационных условиях сохранить заложенный в аппаратуре энергетический запас на замирания сигнала, характеризуемый отношением

$$10 \lg \left(\frac{\bar{P}_{\text{пм}}}{P_{\text{пм пор}}} \right) = -V_{\text{пор}}.$$

Средняя мощность сигнала на входе приемника i -го интервала ретрансляционной линии рассчитывается по формуле

$$\bar{P}_{\text{пми}} = P_{0\text{пми}} \bar{V}_i^2,$$

где $P_{0\text{пми}}$ – мощность сигнала на входе приемника i -го интервала ретрансляционной линии при распространении гидроакустических волн в свободном пространстве; \bar{V}_i – значение множителя ослабления поля свободного пространства на i -м интервале при среднем состоянии придонного слоя;

$$P_{0\text{пми}} = \frac{P_{\text{плд}} G_{\text{плд}} G_{\text{при}} \lambda^2}{16\pi^2 R_i^2 \eta_{\text{авт}i}},$$

где $P_{\text{пд}i}$ – мощность передатчика на i -м интервале РРЛ; R_i – длина i -го интервала РРЛ; $G_{\text{пд}i}$, $G_{\text{при}i}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн на i -м интервале ГРЛ; λ – длина волны; $\eta_{\text{авт}i}$ – потери в приемно-передающем антенно-волноводном тракте (АВТ) на i -м интервале.

Зададимся максимальной протяженностью линии связи (l_{max}) – расстоянием между ГРЛ – 5 км.

В соответствии с [15] оптимальное значение частоты для линии связи протяженностью 5 км равно

$$f_{\text{опт}} \approx \frac{62}{r^{2/3}} \approx \frac{62}{5^{2/3}} = 21,204 \text{ кГц.}$$

Ближайшими по рабочей частоте из серийно выпускаемых гидроакустических антенн являются:

– антенны 1D1, выпускаемые согласно техническим условиям ЛУЗ.848.017;

– антенны акустической аппаратуры СКОЛ-2000Р, выпускаемые на основе технических условий СУЦЗ.837.018.

Антенна 1D1 имеет рабочую частоту 11,6 кГц, что в 1,8 раза ниже требуемой; антенна СКОЛ-2000Р – 29,6 кГц, что в 1,4 раза выше требуемой.

Параметры этих антенн приведены в таблице.

Технические данные гидроакустических антенн

| № п/п | Наименование параметра | Антенна 1D1, ЛУЗ.848.017 | Антенна СКОЛ-2000Р СУЦЗ.837.018 |
|-------|--|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Внутреннее сопротивление, МОм, не менее | 200 | 100 |
| 2 | Сопротивление изоляции, МОм, не менее | 200 | 100 |
| 3 | Электрическая емкость, пФ | 54 000 ± 7500 | 5000 |
| 4 | Резонансная частота f , кГц | 11,6 $\frac{+0,6}{-0,7}$ | 29,6 |
| 5 | Чувствительность в режиме излучения β_a , (Па · м) / В, не менее | 9 | 28 |
| 6 | Активное сопротивление на частоте резонанса R_a , кОм | 1,0...1,8 | 1,6...2,0 |

Окончание таблицы

| № п/п | Наименование параметра | Антенна 1D1, ЛУ3.848.017 | Антенна СКОЛ-2000Р СУЦ3.837.018 |
|-------|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| 7 | Чувствительность в режиме приема γ , мкВ / Па, не менее | 300 | 800 |
| 8 | Коэффициент осевой концентрации K_0 | 2 | 25 |
| 9 | Ширина диаграммы направленности на уровне 0,7 от максимума, град | 180 | 44 |
| 10 | Полоса пропускания $\Delta f_{\text{пр}}$, кГц, не менее | 1,0 | 1,6 |
| 11 | Рабочая глубина, м | 6000 | 3000 |
| 12 | Габаритные размеры, мм | 300, $H = 336$ | 95, $H = 170$ |
| 13 | Масса, кг | 7,2±0,5 | 1,7 |

Но антенна 1D1 фактически является ненаправленной, поэтому нежелательна для использования в ГРЛ.

Антенна СКОЛ-2000Р является направленной, но накладывает ограничения на рабочую глубину. Антенна аттестована для работ на глубинах до 3000 м.

Для расчета выбирается антенна СКОЛ-2000Р.

С учетом [13] получим коэффициент затухания акустических колебаний

$$\beta \approx 0,036 f_{\text{раб}}^{1,5} = 0,036 \cdot 29,6^{1,5} = 5,797 \text{ [дБ/км]}.$$

Коэффициент потерь

$$\gamma_E \approx \exp(-0,23 \cdot 5,797 \cdot 5) = 0,018.$$

Требуемое звуковое давление P_c в плоскости приемной антенны определяется [15] как

$$P_c = \frac{hK f_0 \Delta f_{\text{пр}}}{(f / f_0)^2 K_0} = \frac{10 \cdot 0,1 \cdot 50}{(21,204 / 1)^2 \cdot 25} = 4,448 \cdot 10^{-3} \text{ Па}.$$

Напряжение сигнала на выходе приемной гидроакустической антенны (на входе приемника) будет равно [3]

$$U_{\text{вх}} = \gamma P_c = 800 \cdot 4,448 \cdot 10^{-3} = 3,56 \text{ мкВ.}$$

Используя полученное значение P_c [5], вычислим

$$P_{\text{изл}} = \frac{P_c r}{\sqrt{10^{-0,1\beta r}}} = 6260 \text{ Па.}$$

Тогда электрическая мощность, которая должна быть подведена к передающей антенне, равна

$$P_3 = \frac{P_{\text{изл}}}{\beta_a^2 R_a} = \frac{6260}{28^2 \cdot 2} = 3,992 \approx 4 \text{ Вт,}$$

что является вполне приемлемым.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа сделан расчет гидроакустической ретрансляционной линии длиной 5 км. Выбрана наиболее подходящая модель гидроакустической антенны (СКОЛ-2000Р). Показано, что электрическая мощность, которая должна быть подведена к передающей антенне, составляет 4 Вт, что можно считать вполне приемлемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маглицкий Б.П.* Проектирование ЦРРЛ: учебное пособие для вузов. – Новосибирск: СибГУТИ, 2002. – 63 с.
2. *Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А.*, Анализ статистических характеристик сигналов и помех в гидроакустических каналах связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 3. – С. 78–84.
3. *Филиппов Б.И.* Определение наклонной дальности между судном и донной станцией // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 55. – С. 33–40.
4. *Филиппов Б.И.* Энергетический расчет гидроакустических линий связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 3. – С. 67–77.

5. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, А.П. Ляликов и др. – Л.: Судостроение, 1982. – 344 с.
6. *Bluen S., Heard G.J., Pecknold S.* Autonomy and networking challenges of future underwater systems // 2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). – Piscataway, NJ: IEEE, 2015. – P. 1514–1519.
7. *Федосов В.П., Легин А.А., Ломакина А.В.* Алгоритмы, основанные на технологии МИМО–OFDM, для реализации цифрового гидроакустического канала связи // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 7 (168). – С. 148–158.
8. *Литвинцева А.В., Оболин М.А.* Использование линейного предсказателя речи в программной модели низкоскоростного вокодера для передачи речи по гидроакустическому каналу связи // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3.
9. Experimental estimation of delivery success of navigation data packages transmitted via digital hydroacoustic communication channel / K.G. Kekal, V.K. Kebkal, A.G. Kebkal, R. Petroccia // Gyroscopy Andnavigation. – 2016. – Vol. 7, N 4. – P. 343–352.
10. *Khan A.I.R., Gang Q., Mehboob K.* Investigation of channel modeling and simulation of OFDM based communication near northern regions of Arabian sea // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 5 (4). – P. 1169–1182.
11. Simulation and modeling of hydro acoustic communication channels with wide attenuation and ambient noise / J. Huang, M. Babeau, S. Blouin, C. Hamm, N. Taillefer // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. – 2017. – Vol. 2. – P. 1–21.
12. *Filippov B.I., Chernetsky G.A.* Increase of reliability of transfer of blocks the digital information on the hydroacoustic communication channel = Повышение достоверности передачи блоков цифровой информации по гидроакустическому каналу связи // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. – Vol. 9, iss. 4. – P. 489–499.
13. *Филиппов Б.И.* Алгоритм функционирования системы измерения дистанции с использованием гидроакустического канала связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 4. – С. 87–98.
14. *Лившиц И.П., Орлов И.А.* Имитационное машинное моделирование системы связи в условиях гидроакустического канала передачи сигналов // Труды XXIV Международной конференции и дискуссионного научного клуба «Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе», Украина, Крым, Ялта–Гурзуф. – Гурзуф, 1997. – С. 29–31.

15. *Филиппов Б.И.* Энергетический расчет гидроакустических линий связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 3. – С. 67–77.

Филиппов Борис Иванович, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – теория надежности, радиотехника и связь. Опубликовано 41 статья, два учебных пособия и монография. E-mail: filipov-boris@rambler.ru

Рудковский Александр Александрович, студент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: rudkovskiyalex@gmail.com

Design of the relaying line of a hydroacoustic communication channel*

B.I. Filippov¹, A.A. Rudkovskiy²

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, associate professor, candidate of technical science. E-mail: filipov-boris@rambler.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student of the information security department E-mail: rudkovskiyalex@gmail.com*

Design of the relaying line begins with the chose of the traces. Wherein was counted economical-technical researches, and also general recommendation for choosing traces. In the work is consider the design of the relaying line with considering the features of the hydroacoustic communication channel. With the given constants of electrical characteristics of the relaying lines equipment, signal on the entrance of the hydroacoustic receiver of the repeater station will be determine with the specific conditions of the spread of the acoustic waves. Reduction in the stability of the signal level at the intervals of the relay lines, i.e. reduction the middle level and increase the deep and continues of the fading, is caused by the following factors: curvature of the trajectory of acoustic waves when the state of the hydrosphere (bottom layer) changes; print reflections from the underlying surface; poisoning from layered inhomogeneities arising in the bottom layer. Unfavorable are the cases the passage of the traces along a flat surface, since under these conditions the beam reflected from the bottom is of the same intensity as the direct beam. One way to reduce the effect of the reflected beam is to place transponders in which the reflected beam can be completely shielded by natural elevations. In the same way, the weakening of the influence of reflections from layered inhomogeneities can be achieved. From this point of view, it is favorable that the traces pass through a highly rugged terrain, since the formation of sharply expressed low-lying horizontal layers above such traces

* Received 29 September 2017.

is unlikely. The calculation of the factor of the weakening of the field strength at the receiving site and at open intervals is given in the paper. It is shown that the electrical power, which must be connected to the transmitting antenna, is 4 W, which is quite acceptable.

Keywords: hydroacoustic channel, multipath wave propagation, bottom relief, hydroacoustic transponder, hydroacoustic radio relay line, mutual interference, stability of the receiver signal, attenuation factor, electric signal power

DOI: 10.17212/2307-6879-2017-4-77-96

REFERENCES

1. Maglitskii B.P. *Proektirovanie TsRRL* [Design DRRL]. Novosibirsk, SibGUTI Publ., 2002. 63 p.
2. Filippov B.I., Chernetskii G.A. Analiz statisticheskikh kharakteristik signalov i pomekh v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [The analysis of statistical characteristics of signals and hindrances in hydroacoustic communication channels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, no. 3, pp. 78–84.
3. Filippov B.I. Opredelenie naklonnoi dal'nosti mezhdru sudnom i donnoi stantsiei [Determination of slant range between a ship and a bottom station]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Rязan State Radio Engineering University*, 2016, no. 55, pp. 33–40.
4. Filippov B.I. Energeticheskii raschet gidroakusticheskikh linii svyazi [Energy calculation of hydroacoustic communication lines]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016, no. 3, pp. 67–77.
5. Evtyutov A.P., Kolesnikov A.E., Lyalikov A.P. et al. *Spravochnik po gidroakustike* [Reference on hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 344 p.
6. Bluen S., Heard G.J., Pecknold S. Autonomy and networking challenges of future underwater systems. *2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*. Piscataway, NJ, IEEE, 2015, pp. 1514–1519.
7. Fedosov V.P., Legin A.A., Lomakina A.V. Algoritmy, osnovannye na tekhnologii MIMO-OFDM, dlya realizatsii tsifrovogo gidroakusticheskogo kanala svyazi [Algorithms based on MIMO-OFDM technology for realization of digital hydroacoustic communication channel]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – Izvestiya Southern Federal University. Engineering sciences*, 2015, no. 7 (168), pp. 148–158.

8. Litvintseva A.V., Obolonin M.A. Ispol'zovanie lineinogo predskazatelya rechi v programmnoi modeli nizskoskorostnogo vokodera dlya peredachi rechi po gidroakusticheskomu kanalu svyazi [Linear prediction of speech in software model of low speed vocoder over hydroacoustic communication channel]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 3.
9. Kekal K.G., Kebkal V.K., Kebkal A.G., Petroccia R. Experimental estimation of delivery success of navigation data packages transmitted via digital hydroacoustic communication channel. *Gyroscopy and Navigation*, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 343–352.
10. Khan A.I.R., Gang Q., Mehboob K. Investigation of channel modeling and simulation of OFDM based communication near northern regions of Arabian sea. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, vol. 5 (4), pp. 1169–1182.
11. Huang J., Babeau M., Blouin S., Hamm C., Taillefer N. Simulation and modeling of hydro acoustic communication channels with wide attenuation and ambient noise. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 2017, vol. 2, pp. 1–21.
12. Filippov B.I., Chernetsky G.A. Increase of reliability of transfer of blocks the digital information on the hydroacoustic communication channel. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2016, vol. 9, iss. 4, pp. 489–499.
13. Filippov B.I. Algoritm funktsionirovaniya sistemy izmereniya distantsii s ispol'zovaniem gidroakusticheskogo kanala svyazi [Algorithm for the functioning of a distance measuring system using a hydroacoustic communication channel]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016, no. 4, pp. 87–98.
14. Livshits I.P., Orlov I.A. [Simulation machine simulation of the communication system under conditions of the hydroacoustic signal transmission channel]. *Trudy XXIV Mezhdunarodnoi konferentsii i diskussionnogo nauchnogo kluba "Novyye informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii i biznese"* [Proceedings of the XXIV International Conference and Discussion Science Club "New Information Technologies in Science, Education and Business"], Ukraine, Crimea, Yalta–Gurzuf, 1997, pp. 29–31 (In Russian).
15. Filippov B.I. Energeticheskii raschet gidroakusticheskikh linii svyazi [Energy calculation of hydroacoustic communication lines]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya*

tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics, 2016, no. 3, pp. 67–77.

Для цитирования:

Филиппов Б.И., Рудковский А.А. Проектирование ретрансляционной линии гидроакустического канала связи // Сборник научных трудов НГТУ. – 2017. – № 4 (90). – С. 77–96.

For citation:

Filippov B.I., Rudkovskiy A.A. Proektirovanie retranslyatsionnoi linii gidroakusticheskogo kanala svyazi [Design of the relaying line of a hydroacoustic communication channel]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (90), pp. 77–96.