

УДК 621.396.96

В.Д. Карлов¹, Ю.Н. Ульянов², В.Л. Мисайлов¹, Н.Г. Максимова³¹ Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков² Национальный технический университет "ХПИ", Харьков³ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В СИСТЕМАХ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Проведен анализ возможности использования мощных сверхширокополосных (СШП) акустических импульсов (АИ) в системах радиоакустического зондирования (РАЗ). В отличие от узкополосных заполненных АИ, традиционно используемых в современной радиоакустической аппаратуре, такие акустические импульсы по своей природе являются незаполненными. При распространении СШП АИ проявление эффектов нелинейного взаимодействия с воздухом не имеет места, что снимает ограничение на повышение акустической мощности. Дополнительно снимается жесткое требование на выполнение условия Брэгга. На основании данных математического моделирования характеристик распространения в воздухе акустических импульсов, сопутствующих винтовочным выстрелам, подтверждена практическая реализуемость рассматриваемого способа РАЗ.

Ключевые слова: радиоакустическое зондирование, сверхширокополосный акустический импульс, нелинейное поглощение звука в воздухе.

Введение

Постановка проблемы. Практика традиционного радиоакустического зондирования (РАЗ) с использованием узкополосных акустических импульсов (АИ) показывает, что одной из слабых сторон является ограничение работоспособности аппаратуры РАЗ ввиду нарушения условия резонансного взаимодействия электромагнитного и звукового излучений на интервале высот зондирования. Этот негативный фактор, дополнительно к расходимости и поглощению звуковых волн в воздухе, приводит к снижению соотношения сигнал/шум на входе приемных устройств систем РАЗ, и, как следствие, к ухудшению рабочих точностных характеристик аппаратуры.

Непосредственно компенсировать такое снижение величины соотношения сигнал/шум оказывается возможным лишь в некоторой малой мере за счет увеличения излучаемой акустическим источником мощности синусоидальных волн. Здесь, в роли фактора, ограничивающего наращивание величины излучаемой акустической мощности, выступают нелинейные свойства воздуха [1].

По указанной причине приходится наращивать число длин волн m в акустических зондирующих посылках (АЗП). Однако, последнее приводит к падению разрешающей способности аппаратуры зондирования по дальности.

Кроме того, увеличение значения m обостряет резонансные свойства АЗП, делая невозможной работу в условиях реальной температурно стратифицированной атмосферы без вариации частоты зондирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Возможным путем повышения энергетических характеристик систем акустического и радиоакустического зондирования может быть использование мощных коротких незаполненных акустических импульсов, которые являются сверхширокополосными (СШП АИ).

Как известно [2], при распространении коротких незаполненных АИ проявление эффектов нелинейного взаимодействия с воздухом не имеет места. В этой связи для зондирования могут использоваться СШП АИ, значительно превосходящие по интенсивности уровни, традиционно присущие акустическим излучателям современных содаров и систем РАЗ. К тому же, малая пространственная протяженность таких АИ обеспечит существенное повышение разрешающей способности зондирующей аппаратуры по дальности, одновременно устраняя ограничения, связанные с селективностью метода радиоакустического зондирования.

Для получения практически значимых оценок реализуемости способа зондирования атмосферы с использованием СШП АИ в рассмотрение включены технические характеристики звукового излучения ружейных выстрелов, как возможных источников мощных коротких акустических импульсов [3, 4]. Круг возможных источников СШП АИ не ограничивается устройствами взрывного типа. Сюда могут быть включены, например, мощные акустические искровые генераторы [5]. Хорошая сочетаемость таких акустических генераторов с аппаратурой радиоакустического зондирования подтверждена на практике [6].

Нам видится, что, благодаря использованию мощных коротких незаполненных АИ, открываются перспективы улучшения помехозащиты содаров в первую очередь от импульсных акустических помех. Дополнительно к помехоустойчивости содара, работающего в режиме излучения СШП АИ, существенно уменьшается протяженность его «мертвой» зоны и повышается пространственное разрешение. К тому же, появляется возможность дополнения объема выходной информации содара за счет перехода к получению акустического изображения зондируемых атмосферных образований.

Для радиоакустической техники зондирования атмосферы с использованием в качестве зондирующих СШП АИ снимается условие жесткой связи между рабочими частотами источника звука и доплеровского радара. Появляется реальная возможность использования радаров различной частоты в составе одного радиоакустического аппаратного комплекса, в том числе радаров некогерентного типа [7].

Цель статьи. Целью настоящей работы является исследование возможности использования мощных коротких незаполненных акустических импульсов для акустического и радиоакустического методов зондирования атмосферы.

Энергетические показатели способов радиоакустического зондирования

В основе всех известных способов радиоакустического зондирования атмосферы лежит брэгговский тип дифракции электромагнитных волн на пространственной "решетке" периодических неоднородностей плотности воздуха, создаваемых движущимся цугом акустических волн конечной амплитуды [8]. Резонансный характер дифракции требует точного выполнения условия Брэгга, связывающего длины звуковых λ_s и электромагнитных λ_e волн с учетом величины угла падения φ последних на такую решетку:

$$2\lambda_s \cos \varphi = \lambda_e. \quad (1)$$

Повышение уровня отраженного решеткой электромагнитного излучения в известных способах радиоакустического зондирования обеспечивается при выполнении условия (1) за счет использования протяженного звукового цуга (звуковой зондирующей посылки). Длина посылки обуславливает пространственное разрешение радиоакустической аппаратуры зондирования

$$\Delta R = \lambda_s \frac{m}{2}, \quad (2)$$

где m – число длин волн в звуковой зондирующей посылке.

Величина возмущений показателя преломления среды ΔN для электромагнитных волн, создаваемая

в воздухе направленным источником звука, может быть оценена на основании уравнения Дебая, связывающего величину N с термодинамическими характеристиками воздуха. Согласно этому уравнению, производимые звуковыми волнами возмущения показателя преломления для электромагнитных волн при нормальных условиях составят:

$$\Delta N \approx 0,27\Delta p_B - 1,27\Delta T_B, \quad (3)$$

где ΔT_B и Δp_B – отклонения температуры T_B и давления p_B воздуха от среднего значения, вызванные прохождением акустической волны. Учитывая адиабатичность процессов при распространении звука в воздухе, используя известное уравнение сухой адиабаты, можно получить следующее выражение, связывающее величины ΔN и Δp_B , создаваемые источником звука в воздухе:

$$\Delta N \approx 0,17\Delta p_B. \quad (4)$$

Для коэффициента отражения электромагнитных волн по мощности ρ_e^2 от цуга акустических волн в воздухе, при условии выполнения соотношения Брэгга, можно записать, согласно [9], следующее выражение:

$$\rho_e^2 = \Delta N^2 \frac{m^2 \pi^2}{4} = 7,1 \cdot 10^{-14} m \Delta p_B^2. \quad (5)$$

Соотношение (5), с учетом (2), получит вид:

$$\rho_e^2 = 7,1 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\Delta p_B \Delta R}{\lambda_s} \right)^2. \quad (6)$$

Полученное соотношение показывает наличие при радиоакустическом зондировании прямой связи между коэффициентом отражения от звукового цуга и величинами акустической мощности и разрешающей способности по дальности, а также существование обратной пропорциональной связи в отношении длины звуковых волн.

Увеличение акустической мощности имеет определенный физический предел. Распространение звуковой волны с большой амплитудой приводит к эффекту нелинейного взаимодействия звука с атмосферным воздухом. Это обуславливает дополнительные акустические потери, превосходящие потери за счет механизмов поглощения для звука малой амплитуды. В результате основная энергия волны расходуется на создание гармоник, которые интенсивно затухают в атмосфере. Расстояние от акустического излучателя, на котором звуковая волна может считаться плоской, и когда появляются нелинейные эффекты, согласно [8], будет:

$$R_{\text{nonl}} = 16S_s / \lambda_s, \quad (7)$$

где S_s – площадь акустического излучателя.

Для инженерной оценки обычно полагают, что акустическая мощность периодических синусоидальных волн не должна превышать величины $P_{s \text{ max}}$ [10]:

$$P_{s \max} \approx 1.88 \cdot 10^4 \lambda_s / R_{\text{nonl}}. \quad (8)$$

Существование некоторого порогового уровня звукового давления $P_{s \max}$ для излучателя периодических звуковых волн, превышение которого не вызывает роста звукового давления на рабочей частоте, подтверждается экспериментальными исследованиями по разработке мощных излучателей звука для средств дистанционного зондирования атмосферы [11]. Таким пороговым уровнем, например, для излучателей звука, работающих на частоте порядка 2 кГц, будет звуковое давление около 80 Па вблизи источника. С ростом рабочей частоты звука величина $P_{s \max}$ снижается.

На основании всего изложенного выше можно заключить, что единственной возможностью повышения коэффициента отражения электромагнитных волн от акустического цуга конкретной частоты в аппаратуре традиционного РАЗ является увеличение протяженности последнего. На этом пути, однако, нам придется считаться не только с ухудшением пространственного разрешения по дальности. С увеличением числа m в зондирующих синусоидальных посылках одновременно происходит существенное сужение области возможных изменений рабочей длины звуковой волны из-за повышения селективности пространственной акустической решетки, участвующей в брэгговской дифракции. Следствием этого будет ограничение работоспособности аппаратуры РАЗ в условиях температурно стратифицированной по высоте атмосферы. Поэтому, в практике радиоакустического зондирования пограничного слоя атмосферы, где часто вертикальные градиенты температуры наиболее велики, приходится применять манипулированные по частоте звуковые посылки или вводить автоматическую подстройку частоты электромагнитного излучения [8]. Ценою таких технических дополнений является, как известно, потеря оперативности получения информации о температурных профилях и снижение точности измерений [12, 13]. Заметим дополнительно, что нельзя считать приемлемым увеличение энергетического потенциала доплеровского радиолокатора, входящего в состав аппаратуры РАЗ. Это приведет к потере одного из основных преимуществ радиоакустической техники в сравнении с метеорологическими радаром – хорошей ее электромагнитной совместимости. Ведь техника РАЗ оперирует с доплеровскими радаром, у которых энергетический потенциал примерно на 40 дБ ниже, чем у радарных метеорологических виндпрофайлеров [13].

Альтернативой здесь может быть использование широкополосных незаполненных акустических зондирующих импульсов вместо различного вида заполненных, характерных для современной радиоакустической аппаратуры. Примером такого неза-

полненного широкополосного акустического импульса является звуковой хлопок, сопровождающий выстрел из огнестрельного оружия.

Прежде всего следует оценить физическую возможность получения реализации способа радиоакустического зондирования используя незаполненный акустический импульс. Для этого сопоставим величины коэффициентов отражения по мощности ρ_e^2 для электромагнитных волн при использовании заполненных и незаполненных звуковых посылок.

В расчете величины ρ_e^2 для незаполненного акустического импульса будем использовать выражение, полученное в [14] и приведенное выше соотношение (4), откуда:

$$\rho_e^2 = \frac{\Delta N^2}{4} \cdot 10^{-12} = 7,2 \cdot 10^{-15} \Delta p_B^2. \quad (9)$$

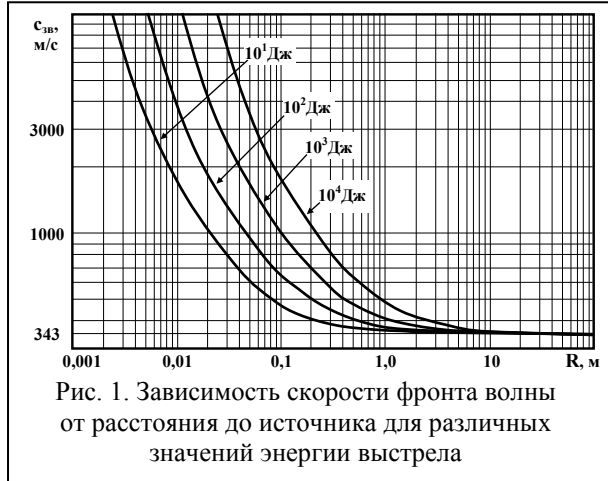
В качестве примера возьмем значения технических характеристик известной аппаратуры РАЗ, описанной в [15]. Здесь, учитывая величину звукового давления 25 Па, развиваемого на расстоянии 10 метров от акустической антенны и задавшись минимальной величиной m порядка 40, на основании оценочного расчета по формуле (6) получим для дистанции зондирования 100 метров величину $\rho_e^2 \approx 8,7 \cdot 10^{-12}$. Эта же аппаратура, при использовании в качестве зондирующего акустического импульса сопутствующего выстрелу из нарезного оружия [16] со звуковым давлением 1600 Па на расстоянии двух метров от среза ствола для той же дальности зондирования будет работать с величиной $\rho_e^2 \approx 2,3 \cdot 10^{-12}$.

Как следует из приведенной численной оценки, коэффициенты отражения разительного отличия не имеют, что свидетельствует в пользу возможности практической реализации способа РАЗ с источником звука в виде одиночного незаполненного акустического импульса аналогичного винтовочному. С еще большим успехом, чем взрывные, для целей зондирования могут быть использованы электроискровые источники звука, которые способны создавать (по экспериментальным данным [5]) на расстоянии 1 метра звуковое давление до 3550 Па.

Моделирование распространения незаполненных акустических импульсов в воздухе

При проектировании работающей по предложенному способу системы РАЗ необходимо учитывать также тот факт, что вблизи источников мощных незаполненных акустических импульсов имеет место вырождение акустического импульса в слабую ударную волну, скорость которой отлична от текущей скорости звука. Сколь необходим такой учет в реальных условиях и на какой части дистанции зон-

дирования акустический импульс от ружейного выстрела движется со скоростью, большей адиабатической, можно судить из семейства графиков, представленных на рис. 1. Эти численные оценки выполнены и любезно предоставлены нам доктором С.Л. Одинцовым из Института оптики атмосферы Российской академии наук.



Из рис. 1 можно видеть, что размер области проявления нелинейных эффектов зависит от энергетической характеристики источника, и для мощностей импульсных источников до 10 кДж не превышает 20 м. Протяженность зоны, где можно говорить о явной ударной волне, ограничивается несколькими метрами.

СШП АИ представляет собой суперпозицию гармоник различных частот, поэтому при рассмотрении модели его распространения целесообразно использовать представление первоначальной его формы интегралом Фурье. При моделировании распространения такого сигнала в атмосфере необходимо учитывать энергетические потери. Поскольку коэффициент поглощения звука зависит от его частоты, то амплитуда каждой из составляющих широкополосный сигнал гармоник будет изменяться с расстоянием по своему закону.

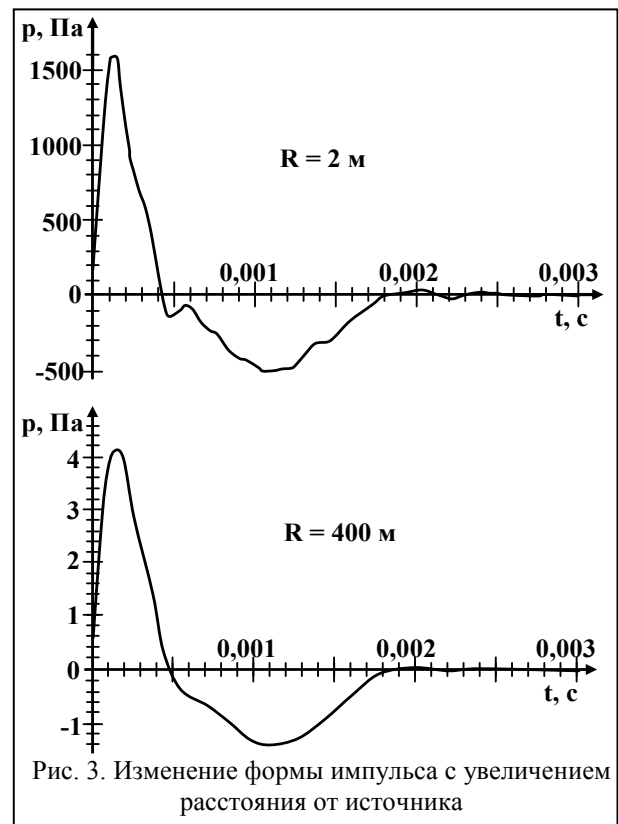
Таким образом, при распространении СШП АИ в атмосфере кроме общего уменьшения амплитуды будет происходить непрерывное изменение его формы. Для построения математической модели мы воспользовались формой реального звукового импульса от винтовочного выстрела [5]. СШП АИ можно рассматривать как аperiodическую функцию звукового давления от времени, обращающуюся в нуль на бесконечности и представить в виде интеграла Фурье. Для упрощения расчетов полагалось, что звук распространяется в однородном объеме воздуха, в котором установились нормальные условия: $T_B = 293,15$ К, $p_B = 1013$ мбар, влажность воздуха $q_B = 80\%$. В этом случае вертикальный градиент коэффициента поглощения звука вырождается в ли-

нейную зависимость от расстояния. С учетом сделанного допущения, расчетные соотношения для моделирования имели следующий вид:

$$F_s \omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p(t, r) e^{i\omega t} dt \quad (10)$$

$$p(t, r) = \frac{1}{r^2} \int_{-\infty}^{\infty} F_s \omega e^{-i\omega t} d\omega \quad (11)$$

В результате моделирования были получены зависимости спектра и формы акустического импульса от расстояния, которые представлены на рис. 2 и 3, соответственно.



Расчет величины коэффициента поглощения звука α производился нами на основании данных стандарта ISO 9613-2:1996. Легко заметить, что на

заданном интервале высот для наиболее значимой части спектра существенного его смещения не происходит. Максимум спектра давления находится в интервале частот от 150 до 900 Гц, что хорошо согласуется с результатами других известных исследований в области звукового излучения огнестрельного оружия [17, 18].

Графики изменения формы акустического импульса на рис. 3 показывают, что есть все основания ожидать лишь небольшого падения их отражательной способности для электромагнитных волн, связанного с уменьшением крутизны фронта импульса на рассматриваемой дистанции.

Оценка ЭПР акустического импульса ружейного выстрела

Проведем расчет эффективной площади рассеяния (ЭПР) фронта промоделированного акустического импульса. В предположении об однородности атмосферы и отсутствии бокового ветра фронт акустического импульса будет представлять собой сегмент сферы, эффективная площадь рассеяния которого имеет вид [19]:

$$\sigma_i = \rho_e^2 \cdot 2\pi R^2, \quad (12)$$

где ρ_e^2 – коэффициент отражения по мощности радиоволн от перепада давлений, созданного фронтом импульса.

Учитывая направленные свойства антенны радара, для ЭПР фронта акустического импульса получаем:

$$\sigma_i = \rho_e^2 2\pi R^2 \cdot 1 - \cos \Theta_{0,5}. \quad (13)$$

При расчете ЭПР фронта импульса нами были сделаны следующие допущения:

- оси диаграмм направленности акустического источника и радиолокационной антенны совпадают;
- значение ширины диаграммы направленности антенны радара $\Theta_{0,5} = 20^\circ$.

Полученные значения ЭПР импульса показывают очень быстрое убывание σ_i с расстоянием из-за сферической расходимости звуковой волны, что является естественным ограничением практического применения данного способа.

При использовании направленных источников мощных акустических импульсов [4] σ_i значительно возрастает.

В табл. 1 приведены расчетные значения ЭПР акустического импульса и ЭПР турбулентных неоднородностей σ_t в разрешаемом объеме РЛС. Расчет σ_t был выполнен по [20] для рабочей длины волны и разрешаемого объема РЛС соответственно 10 см и 30 м в условиях развитой турбулентности [21].

Таблица 1

Значения ЭПР акустического импульса и турбулентных неоднородностей

| Расстояние от источника R, м | ЭПР акустического импульса σ_i , м ² | ЭПР турбулентных неоднородностей σ_t , м ² |
|------------------------------|--|--|
| 50 | $1,7 \cdot 10^{-8}$ | $1,2 \cdot 10^{-10}$ |
| 100 | $1,0 \cdot 10^{-8}$ | $6,7 \cdot 10^{-10}$ |
| 150 | $7,1 \cdot 10^{-9}$ | $1,6 \cdot 10^{-9}$ |
| 200 | $4,8 \cdot 10^{-9}$ | $3,1 \cdot 10^{-9}$ |
| 250 | $3,4 \cdot 10^{-9}$ | $5,1 \cdot 10^{-9}$ |

Сопоставление данных в табл. 1 показывает значительное превышение σ_i над σ_t до высоты порядка 200 метров.

Выводы

Из вышеизложенного материала следует:

- возможным путем повышения разрешающей способности систем радиоакустического зондирования атмосферы может быть использование коротких мощных акустических импульсов различной природы;
- ударная волна, возникающая при генерации СШП АИ, быстро затухает с расстоянием, а скорость распространения акустического импульса стремится к скорости звука;
- ЭПР фронта СШП АИ винтовочного выстрела на расстоянии порядка 200 м существенно превышает ЭПР естественных турбулентных неоднородностей;
- применение направленных источников СШП АИ позволит значительно увеличить дальность действия систем РАЗ, основанных на данном принципе.

Список литературы

1. Данилов С.Д. Оценка нелинейных эффектов звука при радиоакустическом зондировании атмосферы [Текст] / С.Д. Данилов, М.А. Каллистратова // Труды АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. – 1987. – Т. 23, № 5. – С. 997-999.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. [Текст] / гл. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. Markula T. Propagation, measurement and assessment of shooting noise [Электронный ресурс] / T. Markula // Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Espoo, 2006, 73 p. – Режим доступа к ресурсу: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2006/urn006257.pdf>.
4. Altmann Juergen Acoustic Weapons – A Prospective Assessment [Текст] / Juergen Altmann // Science and Global Security. – 2002. – Volume 9. – P. 165-234.
5. Boesch H. Edwin A High Power Electrically Driven Impulse Acoustic Source for Target Effects Experiments and Area Denial Applications [Электронный ресурс] / H. Edwin Boesch, Jr. Bruce T. Benwell, Vincent J. Ellis. – Режим до-

тупа к ресурсу: <http://www.dtic.mil/ndia/NLD3/boe.pdf>.

6. Подолян Л.М. Использование немонохроматического звукового излучения при радиоакустическом зондировании атмосферы [Текст] / Л.М. Подолян, Ю.Н. Улянов // Тез. докладов VII Всесоюзного симпозиума по лазерн. и акустич. зондированию атмосферы. – Томск, 1982. – Часть 2. – С. 141-144.

7. Улянов Ю.Н. Радиоакустическое зондирование с использованием одиночных звуковых импульсов [Текст] / Ю.Н. Улянов, Ю.В. Прокопенко, Н.Г. Максимова // Труды II междунар. конф. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". – Ч.2. – Туансе-Харьков, 1988. – С. 53-54.

8. Каллистратова М.А. Радиоакустическое зондирование атмосферы [Текст] / М.А. Каллистратова, А.И. Кон. – М.: Наука, 1985. – 197 с.

9. Cage K.S. On the scattering and reflection mechanisms contributing to clear air radar echoes from troposphere, stratosphere and mesosphere [Текст] / K.S. Cage, B.V. Balsley // Radio Science. – 1980. – Vol.15, №2. – P. 243-257.

10. Руденко О.В. Основы нелинейной акустики [Текст] / О.В. Руденко. – М.: Наука, 1982. – 176 с.

11. Бочкарев Н.Н. Мощная акустическая решетка для атмосферных исследований [Текст] / Н.Н. Бочкарев, В.А. Клочков, Н.П. Красненко и др. // Распространение звуковых и оптических волн в атмосфере. – Томск: Институт оптики атмосферы, 1988. – С. 101-104.

12. Горелик А.Г. Радиоакустическое зондирование атмосферного пограничного слоя с автоподстройкой частоты / А.Г. Горелик, В.Р. Жежерин, М.А. Каллистратова // Метеорологические исследования. – 1987. – № 28. – С. 82-92.

13. Мисайлов В.Л. Оперативное измерение индекса преломления для диагностики тропосферных волноводов [Текст] / В.Л. Мисайлов, Ю.Н. Улянов // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2005. – Вип. 6 (46). – С. 82-109.

14. Atlas D. Advances in radar meteorology [Текст] / D. Atlas // Advances in Geophysics. – 1964. – Vol. 10. – P. 317-478.

15. Улянов Ю.Н. Двухчастотная радиоакустическая система [Текст] / Ю.Н. Улянов // Тез. докл. VII Всесоюз. симп. по лазерному и акустическому зондир. атмосферы. – Ч.2. – Томск, 1984. – С. 196-199.

16. Don C.G. Impulse propagation in a neutral atmosphere [Текст] / C.G. Don, A.J. Cramond // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1987. – Vol. 81, № 5. – P. 1341-1349.

17. Ylikoski M. Physical characteristics of gunfire impulse noise and its attenuation by hearing protectors [Текст] / M. Ylikoski, J.O. Pekkarinen, J.P. Starck, R.J. Pääkkönen, J.S. Ylikoski // Scandinavian Audiology. – 1995. – №24(1). – P. 3-11.

18. Bronkhorst A.W. Sound Exposure Caused by the Automatic Rifle Diemaco C7A1 and the Mortar 60 mm Hotchkiss-Brandt (Geluidbelasting veroorzaakt door het geweer diemaco C7A1 en het mortier 60 mm Hotchkiss-Brandt) [Электронный ресурс] / A.W. Bronkhorst // Final rept., ADA320703, METAALINSTITUUT TNO APELDOORN (NETHERLANDS), 14 NOV 1996. – Режим доступа к ресурсу: <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA320703>.

19. Черников А.А. Радиолокационные отражения от ясного неба [Текст] / А.А. Черников. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 46 с.

20. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.

21. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно неоднородных средах. В 2-х т. [Текст] / А. Исимару; Пер. с англ. Л.А. Апресян, А.Г. Виноградов, З.И. Фейзулин. – М.: Мир, 1981. – 317 с.

Поступила в редколлегию 6.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОТУЖНИХ НАДШИРОКОСМУГОВИХ АКУСТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ В СИСТЕМАХ РАДІОАКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ

В.Д. Карлов, Ю.М. Улянов, В.Л. Мисайлов, Н.Г. Максимова

Проведений аналіз можливості використання потужних надширокосмугових (НШС) акустичних імпульсів (АІ) в системах радіоакустичного зондування (РАЗ). На відміну від вузькосмугових заповнених АІ, традиційно використовуваних в сучасній радіоакустичній апаратурі, такі акустичні імпульси за своєю природою є незаповненими. При розповсюдженні НШС АІ прояв ефектів нелінійної взаємодії з повітрям не має місця, що знімає обмеження на підвищення акустичної потужності. Додатково знімається жорстка вимога на виконання умови Брега. На підставі даних математичного моделювання характеристик розповсюдження в повітрі акустичних імпульсів, супутніх гвинтівочним пострілам, підтверджена можливість практичної реалізації такого способу РАЗ.

Ключові слова: радіоакустичне зондування, надширокосмуговий акустичний імпульс, нелінійне поглинання звуку в повітрі.

APPLICATION OF POWERFUL ULTRAWIDEBAND ACOUSTIC IMPULSES IN RADIOACOUSTIC SOUNDING SYSTEMS

V.D. Karlov, Y.N. Ulyanov, V.L. Misaylov, N.G. Maksimova

In the paper, possibilities of high-power wideband acoustic pulses for radioacoustic sounding systems (RASS) are analyzed. It is taken into account that at propagation of unfilled acoustic impulses, effects of their nonlinear interaction with the air do not reveal themselves. An engineering mathematical model is built for propagation of the acoustic impulse from the gun shot in the neutral atmosphere with regard of the divergence, classic and relaxation absorption of sound waves in the air, and values of the impulse front cross-section for radio waves are obtained. Cross-sections of impulse fronts are compared with those of the atmospheric turbulent inhomogeneities. The results of comparison have shown that the echo-signal from the impulse front exceeds in level the echo-signal from the turbulent atmospheric inhomogeneities. This confirms the practical realizability of such a RASS method that allows simplifying the RASS equipment, lowering its cost and decreasing its dimensions.

Keywords: radioacoustic sounding, high-power wideband acoustic pulses, nonlinear absorption of a sound in air.