$$J(\hat{Z}^{r^*}_{F,p^*-1}) - J(\hat{Z}^{r^*}_{F,p^*}) < \delta_p\,, \tag{18}$$

где $J(\hat{Z}^{r}_{F,p})$ – значения критерия для лучшего частного описания *r*–ой итерации этапа *p*; δ_p – заданное число.

III Выводы

Особенностью предлагаемого алгоритма является:

1) многоэтапность поиска модели;

2) поиск модели как в классе линейных, так и в классе нелинейных по входным переменным моделей;

3) приемы исключения отдельных членов лучшего частного описания и на основе этого расширение базисного набора аргументов;

4) оптимальная по вычислительным затратам для итерационных алгоритмов МГУА схема расчета критерия скользящего экзамена;

5) возможность оценивать коэффициенты в моделях как по методу наименьших квадратов, так и по методу наименьших модулей.

Кроме того, алгоритм позволяет прогнозировать техническое состояние КСЗИ, а это в свою очередь дает возможность обеспечивать требуемый уровень информационной безопасности объектов различных классов, сложности и назначения.

Литература: ***1.*** *Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач / Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. – М.: Наука, 1974. – 458 с.* ***2****. Основы экономического и социального прогнозирования / Под ред. Мосина Н. – М.: Высшая школа, 1985. – 386 с.* ***3****. Бегма Т. В. Математичні моделі функціонування складних систем / Бегма Т. В., Капустян М. В., Хорошко В. О. / Вісник СНУ ім. В. Даля, №7(161), 2.1, 2011. – С. 252–263.* ***4****. Вучков И. Прикладной линейный регрессионный анализ / Вучков И., Болджнева Л., Салаков Е. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с.* ***5****. Степашко В. С. Методы и критерии решения задач структурной идентификации / Степашко В. С., Кочерга Ю. Л. // Автоматика, №5, 1985. – С. 29–37.* ***6****. Сарычев А. П. Решение проблемы разбиения в МГУА при расчете критерия регулярности в условиях активного эксперимента / Сарычев А. П. // Автоматика, №4, 1989. – С. 19–27. 7. Головань С. М. Основи надійності інформаційних систем / Головань С. М., Корнейко О. В., Петров О. С., Хорошко В. О., Щербак Л. М. – Луганськ: Вид. «Науліджж», 2012. – 335 с.*

УДК 004.924:534.6.08

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ КАК КАНАЛА ТРАНСЛЯЦИИ СНИМАЕМОЙ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Елена Азаренко, Михаил Дивизинюк, Юлия Гончаренко, Дмитрий Гончаренко

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Анотація: **Запропонована математична модель зменшення швидкості звуку сторонньою домішкою у водному середовищі, використовуваному для трансляції мовної інформації, що знімається.**

Summary: **The mathematical model of diminishing of speed of sound is Offered by an extraneous admixture in the water environment used for translation of the taken off speech information.**

Ключевые слова: **Акустический сигнал, скорость звука, речевая информация, упругая среда, примесь.**

I Введение

Решение задачи съема речевой информации в общем случае сводится к решению ряда частных задач, таких как регистрация речевой информации приемным (микрофонным) устройством, трансляция преобразованных зарегистрированных сигналов к приемному устройству, преобразование полученных сигналов в виде, приемлемом для злоумышленника [1]. Одним из методов решения частной задачи скрытой трансляции данных на значительные расстояния является метод передачи высокочастотных акустических сигналов в водной среде, модулированной снятой речевой информацией [2]. Для реализации подобного метода достаточно обязательных конструктивных систем, которыми оснащаются административные здания и жилые дома, спортивные сооружения и увеселительные заведения, загородные особняки, кемпинги и т. п.

Это система водообеспечения (водопровод), которая проходит не только через кухонные блоки, санузлы, но и через ряд служебных помещений, например, лаборатории. Система водяного отопления, если не используется другая, проходит через все помещения в здании. Водяная пожарная система, как правило, проходит через все узловые помещения административных зданий. Кроме этого, в качестве канала передачи данных могут использоваться искусственные и естественные водоемы, находящиеся вблизи контролируемых открытых площадок [3].

Главная проблема в решении частной задачи передачи в локальном водном канале высокочастотного акустического сигнала, промодулированного снятой речевой информацией, состоит в появлении тепловых, турбулентных и других аномалий, которые в гидромеханике принято называть примесями. Их наличие приводит к изменению скорости распространения акустических волн, к искажению высокочастотного акустического сигнала и, как следствие, к потере части снятой речевой информации. Зная закономерности изменения параметров водной среды, можно прогнозировать ожидаемые дальности передачи высокочастотных акустических сигналов и разрабатывать мероприятия по защите источников речевой информации.

II Цель и задачи научного исследования

Целью данной работы является разработка математической модели параметров водной среды как канала трансляции снимаемой речевой информации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, сформулировать постановку задачи и определить подходы к ее решению. Во-вторых, определить условия решения задачи. В-третьих, получить само аналитическое решение и, в-четвертых, проанализировать полученные результаты.

III Постановка задачи

Получение аналитической зависимости изменения скорости распространения звука от количества и свойств примеси, находящейся в воде, относится к классу граничных задач математической физики. В общем виде она определяется следующим образом.

В n-мерном евклидовом пространстве R^n, координаты точек которого могут содержать временную переменную, многомерная многосвязная область *G* ограничена поверхностью Γ. В области *G* определено некоторое дифференциальное уравнение в частных производных:

$$Lu(x) = f(x), \quad x \in G, \tag{1}$$

где $L = (L_1, \ldots, L_1)$ – линейный векторный дифференциальный оператор; $u(x)$ и $f(x)$ – элементы некоторых векторных функциональных пространств $\mathrm{R}_1(G)$ и $\mathrm{R}_2(G)$ соответственно.

На поверхности Γ определен оператор l соотношением

$$l\,u(x)\big|_{\Gamma} = \Psi(y), \quad y \in \Gamma, \tag{2}$$

где $\Psi(y)$ – элемент векторного функционального пространства $\mathrm{R}_3(\Gamma)$.

Поверхность Γ может содержать отдельные незамкнутые поверхности, иметь бесконечно удаленную точку, может не охватывать всю границу области и т. п.

Как правило, определить $u(x)$ из уравнений (1) и (2) при заданных правых частях $f(x)$ и $\Psi(x)$ в элементарных функциях не удается. Поэтому для решения этой задачи используются приближенные методы, одним из которых является метод разложения по неортогональным функциям. Его идея состоит в том, что в конечном ряду по системе функций $\{\varphi_k(x)_{k=1}^N, \varphi \in \mathrm{R}_1\}$ происходит замена пространства $\mathrm{R}_1(G)$ его конечномерным подпространством $\mathrm{R}^N(G)$, являющимся линейной оболочкой системы функций $\{\varphi(x)\}_{k=1}^N$. Приближенное решение $u^N(x)$ ищется в виде ряда

$$\mathrm{u}^{\mathrm{N}}(\mathrm{x}) = \sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{N}} \alpha_{\mathrm{k}}^{(\mathrm{N})} \phi_{\mathrm{k}}(\mathrm{x}) \cdot \tag{3}$$

Координаты разложения $\alpha_k^{(N)}$ находятся путем минимизации функционала

$$\left\| L \cdot u^N(x) - f(x) \right\|_{R_2(G)} + K_N \left\| l\,u^N(y) - \varphi(y) \right\|_{R_3(\Gamma)}. \tag{4}$$

Постоянная K_N показывает, с каким «весом» должны удовлетворять граничные условия. На практике она существенно влияет на приближенное решение.

Поскольку водная среда является упругой, а скорость распространения в ней упругих колебаний (скорость распространения звука *C*) является одной из упругих характеристик среды, то она определяется как корень квадратный из отношения модуля объемной упругости θ к плотности среды, то есть $C = \left(\dfrac{\theta}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$. В то же время модуль объемной упругости является суммой $\theta = \lambda_\Lambda + 2\mu_\Lambda$, где λ_Λ – первый, а μ_Λ – второй коэффициенты Ламе (μ_Λ численно совпадает с модулем сдвига).

Пусть имеется трехмерное евклидово пространство R^3, заполненное средой. В точке *O* – источнике примеси, сформирована аномальная зона G, ограниченная поверхностью Γ, которая может иметь самую различную конфигурацию. Тогда решение задачи (4) будет удовлетворять следующим интегральным соотношениям:

$$u(x) = \int_\Gamma \left[l^{(1)}u(y)\right]K_1(x,y)dS_y + \int_\Gamma \left[l^{(2)}u(y)\right]K_2(x,y)dS_y, \quad x \in G, \tag{5}$$

$$0 = \int_\Gamma \left[l^{(1)}u(y)\right]K_1(z,y)dS_y + \int_\Gamma \left[l^{(2)}u(y)\right]K_2(z,y)dS_y, \quad z \notin G, \tag{6}$$

где $l^{(1)}$ и $l^{(2)}$ – дифференциальные операторы, определенные на границе Γ; K_1 и K_2 – ядра (матрицы) интегральных представлений (5) и (6).

IV Условия решения задачи

Пусть в точке x действует сила, сосредоточенная в направлении оси Ox_i (*i* = 1, 2, 3). Тогда смещение любой точки $y \neq x$ описывается вектор-функцией $H_i(x,y)$ – фундаментальным решением системы однородных дифференциальных уравнений теории упругости. Для установившихся упругих колебаний с частотой ω оператор *L* примет вид:

$$L = \mu\Delta + (\lambda + \mu)grad\ div + \rho\omega^2, \tag{7}$$

а матрица фундаментальных решений

$$H(z_k,x) = \begin{Vmatrix} H_{11}(z_k,x) & H_{12}(z_k,x) & H_{13}(z_k,x) \\ H_{21}(z_k,x) & H_{22}(z_k,x) & H_{23}(z_k,x) \\ H_{31}(z_k,x) & H_{32}(z_k,x) & H_{33}(z_k,x) \end{Vmatrix}, \tag{8}$$

где

$$\begin{aligned} H_{ij}(z_k,x) = {} & \frac{\delta_{ij}}{2\pi\mu} \cdot \frac{\exp[iK_2 r(z_k,x)]}{r(z_k,x)} - \\ & - \frac{1}{2\pi\rho\omega^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^i \partial x^j} \cdot \frac{\exp[iK_1 r(z_k,x)] - \exp[iK_2 r(z_k,x)]}{r(z_k,x)}. \end{aligned} \tag{9}$$

В (9) δ_{ij} – компоненты вектора напряжений, а K_1 и K_2 – неотрицательные числа, определенные равенствами:

$$\left. \begin{aligned} K_1^2 &= \rho\omega^2(\lambda + 2\mu)^{-1} \\ K_2^2 &= \rho\omega^2\mu^{-1} \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

При этих условиях формулы (5) и (6) примут вид:

$$u(x) = \iint_\Gamma H(x,y)T\,u(y)dS_y - \iint_\Gamma u(y)TH(x,y)\,dS_y, \quad x \in G, \tag{11}$$

$$0 = \iint_\Gamma H(z,y)T\,u(y)dS_y - \iint_\Gamma u(y)TH(x,y)\,dS_y, \quad z \notin G, \tag{12}$$

где $H(x, y)$ – матрица Купрадзе, а T – оператор напряжения.

V Аналитическое решение задачи

Для решения граничных задач для уравнений установившихся колебаний может быть использовано представление решений в виде суммы безвихревого (потенциального) и соленоидального решений уравнения Гельмгольца:

$$u(x) = v(x) + \bar{v}(x), \tag{13}$$

где векторы $v(x)$ и $\bar{v}(x)$ удовлетворяют условиям:

$$\left.\begin{aligned} &\left(\Delta + K_1^2\right)V(x) = 0, \quad rot\ v(x) = 0 \\ &\left(\Delta + K_2^2\right)\overline{V}(x) = 0, \quad div\ \bar{v}(x) = 0 \end{aligned}\right\}. \tag{14}$$

Введем допущения, характерные для реальной водной среды.

1. Изотропность, т. е. независимость свойств среды от направления распространения упругих колебаний.

2. Объемная сила $F(x,t)$ меняется во времени гармонически, то есть

$$F(x,t) = A(x)\cos\omega t + B(x)\sin\omega t. \tag{15}$$

Выражение (15) оценивает действие высокочастотного акустического излучателя, несущая частота которого модулируется снимаемой речевой информацией.

3. На границе области G непосредственно на поверхности Γ значение скорости звука совпадает со значениями скорости звука в пространстве R^3 и равно C_1.

4. В автономной области G имеется область (достигающая даже элементарного бесконечно малого объема), где концентрация примеси максимальна (объем примеси приблизительно равен объему воды), а плотность примеси значительно превосходит плотность воды ($\rho_{\hat{a}} << \rho_{\ddot{i}}$), при этом примесь является мелкодисперсной, то есть размеры ее частиц соизмеримы с молекулами воды. Тогда матрица фундаментальных решений примет вид:

$$\begin{aligned} H_{ij}(z_k, x, t) = \frac{1}{4\pi\rho C_2^2}\Bigg\{ &\frac{\delta_{ij}}{2\pi\mu} f\left(t - \frac{r(z_k, x)}{C_2}\right) + \\ &+ C_2^2 \frac{\partial^2}{\partial x^i \partial x^j} \int_0^t \frac{1}{r(z_k, x)}\left[\eta\left(t' - \frac{r(z_k, x)}{C_1}\right) - \eta\left(t' - \frac{r(z_k, x)}{C_2}\right)\right] f\left(t - t'\right)dt' \Bigg\}, \end{aligned} \tag{16}$$

где

$$\eta(a) = \begin{cases} 0 & \text{при } a \le 0 \\ a & \text{при } a > 0 \end{cases}.$$

В выражении (16) присутствуют две константы C_1 – значение скорости звука в водной среде при отсутствии аномальных примесей, и C_2 – значение скорости звука при максимально допустимых параметрах мелкодисперсной примеси.

$$C_1 = \left(\frac{\lambda_\Lambda + 2\mu_\Lambda}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\theta}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{17}$$

Здесь C_1 соответствует классическому определению скорости звука в водной среде без посторонних примесей.

$$C_2 = \left(\frac{\mu_\Lambda}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{18}$$

C_2 – это минимально возможное (экстремальное) значение скорости звука при наибольших показателях внешней примеси.

Изменение (величина уменьшения) скорости звука в зависимости от концентрации внешней примеси $K_{пр}$ будет определяться аналитической зависимостью

$$\Delta C = K_{пр}\left[\left(\frac{\theta}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\mu_{\Lambda}}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}\right]. \tag{19}$$

Таким образом, математическая модель уменьшения скорости звука антропогенной мелкодисперсной примесью представляет собой аналитическую зависимость в виде произведения концентрации этой примеси в водной среде на разницу скоростей звука в чистой спокойной воде при наибольших показателях внешней примеси и при экстремальном (минимально возможном) значении скорости звука.

VI Анализ полученных результатов

Аналитическое решение сформулированной выше задачи показывает, что введение в водную среду любой посторонней примеси приводит исключительно к уменьшению скорости звука. Необходимо добавить, что эта примесь является нерастворимой в воде, а ее частицы имеют достаточно малые размеры (соизмеримы с молекулами воды).

Для решения задач противодействия – уменьшения скорости звука в канале передачи высокочастотного акустического сигнала, модулированного снимаемой речевой информацией, можно использовать мелкодисперсные примеси – присадки. Примером тому может быть использование антикоррозионных присадок в системах водяного отопления, которые, с одной стороны, уменьшают коррозию металлических труб и теплообменников (батарей), способствуют устранению канальной течи, а с другой – уменьшают скорость распространения акустического сигнала, чем искажают его, уменьшают возможность распознавания и сокращают расстояние, на которое он мог распространяться без них.

К сожалению, подобное не допустимо в системах водообеспечения и водяных пожарных системах, в которых добавление антикоррозионных присадок не допустимо. Также остается открытой проблема в искусственных и естественных водоемах, которую локально можно решать, создавая области аэрации – воздушных пузырьков, нагнетаемых в водную среду воздушными компрессорами.

VII Выводы

1. При съеме речевой информации для скрытой ее передачи на относительно большие расстояния могут использоваться конструктивные коммунальные системы зданий и сооружений, а именно: системы водообеспечения, отопления, водяная пожарная система, а также естественные и искусственные водоемы, расположенные в непосредственной близости к контролируемым открытым площадкам. Трансляция по этим системам осуществляется посредством высокочастотных акустических сигналов, модулированных снимаемой речевой информацией.

2. Аналитическое решение математической задачи исследования зависимости изменения скорости распространения звука от количества и свойств примеси, находящейся в воде, показывает, что наличие любой посторонней примеси в водяной системе приводит к уменьшению скорости распространения акустических волн, что, в свою очередь, приводит к искажению и уменьшению возможности съема информации.

3. Одним из способов защиты речевой информации по водяным каналам трансляции данных является введение в водную среду помехи – посторонних примесей, которыми могут быть антикоррозионные присадки в водяной системе отопления или области аэрации (воздушных пузырьков) в водоемах, создаваемые нагнетанием компрессором воздуха в водную среду.

*Литература **1.** Методы и средства защиты информации / С .В. Ленков, Д. А. Перегудов, В. А. Хорошко. – Киев: АРИЙ, 2008. – Т. 1. – 464 с. **2.** Азаренко Е. В. Разработка математической модели синхронных измерений / Е В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк и др. // Сб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Вип.*

1(37). – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – С. 225 – 231. **3.** Дивизинюк М. М. Разработка математической модели идентификации сложных акустических сигналов // М. М. Дивизинюк, Е. Е. Смычков, В. В. Шилин и др. // Сб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Вип. 2(38). – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – С. 257 – 261.

УДК 681.391

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АРТИКУЛЯЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Александр Архипов, Елена Архипова

Национальный технический университет Украины "КПИ"

Аннотация: **Рассмотрена описательная модель возникновения ошибок аудитора при распознавании им искаженных маскирующей помехой слов артикуляционных таблиц, позволяющая на качественном уровне интерпретировать особенности и характеристики ошибок аудитора, объяснить форму закона распределения погрешностей оценок разборчивости.**

Summary: **It is considered a descriptive model of errors origin at recognition by the auditor the masking hindrance distorted words of articulation tables. This model allows qualitatively interpreting features of the auditor errors, explaining the shape of the intelligibility evaluation error distribution.**

Ключевые слова: **Артикуляционная таблица, артикуляционная экспертиза, маскирующая помеха, словесная разборчивость, математическая модель.**

I Введение

Одним из важных аспектов защиты речевой информации является анализ, сопоставление и исследование эффективности методов активной защиты речевых сообщений. В рамках этой проблематики в статьях [1, 2] рассматривались результаты применения артикуляционных испытаний для оценивания уровня разборчивости речевой информации в условиях действия маскирующей помехи с различными спектральными характеристиками. В ходе нахождения точностных показателей характеристик разборчивости, в частности, определения вида и параметров распределения погрешности оценок разборчивости, оказалось, что не выполняются некоторые традиционные допущения относительно формы этого распределения: обычно применяемая нормальная модель распределения погрешности оценок разборчивости в большинстве случаев показала низкую адекватность реальным данным, тогда как проверка гипотезы о распределения погрешности по закону Лапласа дала куда более приемлемые результаты. Попытка интерпретации этого факта обусловила необходимость более углубленного анализа экспериментальных данных, полученных в ходе артикуляционных испытаний, и позволила выявить некоторые особенности механизма формирования ошибок аудиторов, представляющие интерес с точки зрения защиты информации. Часть этих материалов была изложена в [3] . В данной статье рассматривается ряд моделей, описывающих формирование ошибок аудитора, их влияние на характеристики разборчивости и точность получаемых оценок разборчивости.

II Проведение артикуляционных испытаний

Рассмотрим некоторые аспекты организации и проведения артикуляционных испытаний.

При проведении артикуляционных испытаний аудитору предлагаются для распознания записи фрагментов речевой информации (произнесенных слов) с аддитивно наложенным на них шумом, имитирующим влияние маскирующей помехи. В ходе испытаний тестовый сигнал воссоздается через звуковые колонки компьютера, при этом громкость записи устанавливается на комфортном для прослушивания уровне (около 70 дБ). После прослушивания текста аудитор записывает прослушанные слова в специальный бланк. Если услышанное не было понятным, аудитор ставит в соответствующей слову графе прочерк.

Начитывание исходного тестового материала (десяти украинских артикуляционных таблиц слов, по 50 слов в каждой [1, 2]) выполнено профессиональным диктором. Материалы записаны на электронный носитель с частотой дискретизации 44100 Гц. Записи обрабатывались на компьютере, где к тестовому сигналу во временной области аддитивно добавлялись сигналы помехи с отношением сигнал/помеха (S/N), равным: 0; - 2,5; - 5; - 7,5; - 10 дБ, чем имитировались условия активной маскировки речевого сигнала помехами. В качестве сигналов маскирования использовались два вида случайных процессов: со спектральной плотностью мощности типа "белый шум", сформированного стандартной процедурой пакета MatLab, и "цветной "сигнал промышленного генератора типа "ANG 2200".