

УДК 004.9:621.313

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА ТЕЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В АКУСТИЧЕСКОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Г. Х. М. Аль-Джасри, к. т. н. В. А. Болтенков

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

vaboltentkov@mail.ru

*Исследованы алгоритмы кооперативного обнаружения сигнала течи теплоносителя акустической сенсорной сетью, основанные на правилах OR, AND, MAJORITY. Методами компьютерного моделирования показателей качества кооперативного обнаружения построены рабочие характеристики многоканального обнаружителя. Установлена универсальность применения кооперативного правила OR.*

*Ключевые слова: акустическая сенсорная сеть, сигнал течи теплоносителя, кооперативное обнаружение, ROC-кривая*

Своевременное обнаружение и локализация течей теплоносителя в теплотехническом оборудовании является важной практической задачей. Одной из прогрессивных технологий обнаружения и локализации таких течей является применение акустических сенсорных сетей (АСС), размещенных в технологическом помещении и регистрирующих акустический сигнал, возникающий в месте перегретого теплоносителя. Решение задачи локализации течи является вычислительно трудоемким [1]. Поэтому этапом, предшествующим этапу локализации, должна быть процедура обнаружения сигнала течи с бинарным решением. Задача обнаружения сигнала одиночным приемником известна для некоторых моделей сигналов [2], в то же время решение задачи кооперативного обнаружения в АСС авторам не известно. Поэтому целью работы является исследование алгоритмов обнаружения сигнала течи в АСС и выбор правил, обеспечивающих наилучшие показатели качества обнаружения.

В [1] показано, что акустический сигнал от течи перегретого теплоносителя представляет собой "розовый шум", т. е. широкополосный шумовой сигнал с энергетическим спектром вида  $Af^{-1}$  ( $f$  – частота). Задача обнаружения такого сигнала одиночным приемником на фоне аддитивного гауссова шума  $n(t)$  является задачей с предельным уровнем априорной определенности. Наиболее простым в такой ситуации является применение энергетического обнаружителя, для которого вероятности правильного обнаружения  $P_{no}$  и ложной тревоги  $P_{lm}$  при установленном пороге обнаружения  $z$  выражаются через обобщенную Q-функцию Маркума [2].

Поставим задачу многоканального или кооперативного обнаружения сигнала в сети из  $M$  акустических сенсоров. Полагая индивидуальные решения об обнаружении сигнала на одиночных акустических сенсорах некоррелированными, вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги можно определить выражениями

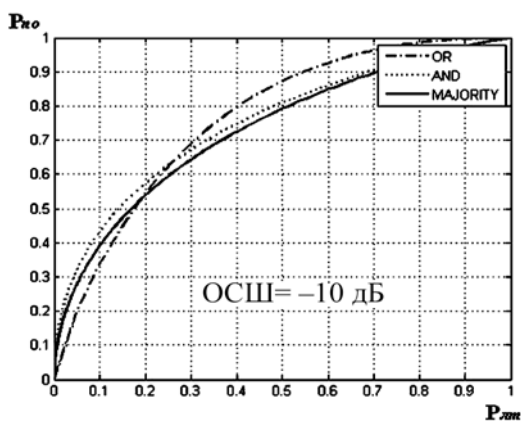
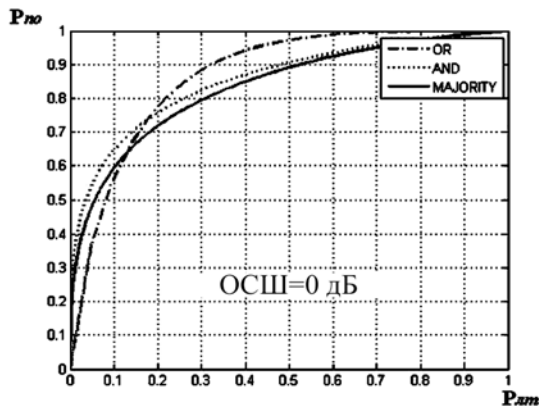
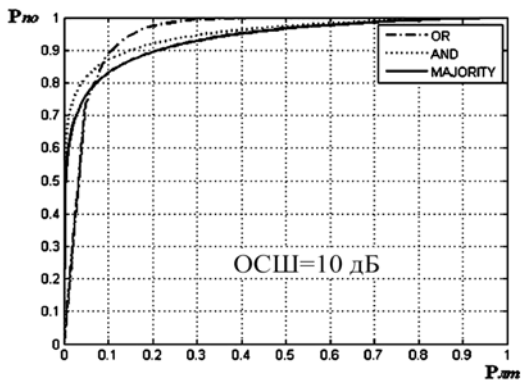
$$P_{no} = \sum_{i=k}^M \prod_{j=1}^i P_{no,j} \prod_{j=i+1}^M (1 - P_{no,j}), P_{lm} = \sum_{i=k}^M \prod_{j=1}^i P_{lm,j} \prod_{j=i+1}^M (1 - P_{lm,j}), \quad (1)$$

где  $P_{no,j}$  и  $P_{lm,j}$  ( $j=1, \dots, M$ ) соответствующие вероятности обнаружения сигнала одним сенсором.

Рассмотрим три частных случая построения кооперативного решающего правила.

1. Правило OR (ИЛИ). Решение о наличии сигнала принимается, если хотя бы на одном из сенсоров принято независимое решение о его наличии. Для этого случая из выражения (1) при  $k=1$  имеем

$$P_{no,OR} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P_{no,i}), P_{lm,OR} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P_{lm,i}).$$



Рабочие характеристики кооперативного обнаружения в АСС из 25 сенсоров

2. Правило AND (И). Решение о наличии сигнала принимается, если на всех сенсорах принято решение о его наличии. Показатели качества в этом случае можно получить из (1), полагая  $k=M$ :

$$P_{no,AND} = \prod_{i=1}^M P_{no,i}, P_{m,AND} = \prod_{i=1}^M P_{m,i}.$$

3. Правило MAJORITY (БОЛЬШИНСТВО). Решение о наличии сигнала принимается при его обнаружении хотя бы половиной сенсоров. Полагая в (1)  $k = \lfloor M/2 \rfloor$ , имеем

$$P_{no,MAJORITY} = \sum_{i=\lfloor M/2 \rfloor}^M C_N^i \prod_{j=1}^i P_{no,i} \prod_{j=i+1}^M (1 - P_{no,i}),$$

$$P_{m,MAJORITY} = \sum_{i=\lfloor M/2 \rfloor}^M C_N^i \prod_{j=1}^i P_{m,i} \prod_{j=i+1}^M (1 - P_{m,i}).$$

Для анализа показателей качества кооперативного обнаружения сигнала в АСС проведено компьютерное моделирование обнаружения сигнала для сети из 25 акустических сенсоров. Рабочие характеристики (ROC-кривые) для различных отношений сигнал/шум (ОСШ) приведены на рисунке. Их анализ показывает, что по критерию максимальной площади под ROC-кривой при любых ОСШ наилучшим является правило OR. В то же время для высоких ОСШ (верхний график) правила AND и MAJORITY обеспечивают лучшее качество обнаружения, если требуется обеспечить низкую вероятность ложной тревоги. При средних ОСШ (центральный график) для низких  $P_{m,i}$  предпочтительным является правило AND. Для низких ОСШ (нижний график) все правила практически эквивалентны.

Полученные результаты исследования позволяют при построении АСС выбрать наилучшее решающее правило кооперативного обнаружения сигнала течи для конкретной сигнально-помеховой ситуации.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Болтенков В. А., Королев А. В., Максимов М. В., Маслов О. В. Алгоритмы обработки информации при акустическом бесконтактном поиске протечек на верхнем блоке реактора ВВЭР-1000 // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика.— 2009. — № 3.— С. 67—72.
2. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью.— Москва: Радио и связь, 2003.

G. Kh. M. Al-Jasri, V. A. Boltenkov

#### The study of algorithms for heat transfer leak signal detection in acoustic sensor network

The algorithms for cooperative detection of coolant leak signal with acoustic sensor network have been studied. The algorithms are based on the cooperative rules OR, AND, MAJORITY. The computer simulation of cooperative detection has been developed to build the multi-channel detection quality indicators. The universality of OR cooperative rule has been established.

Keywords: *acoustic sensor network, heat transfer leak, cooperative detection, ROC-curve.*