

УДК 519

© 2010 г. **А.Е. Бородин**, канд. техн. наук
(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток),

Н.Н. Номоконова, канд. техн. наук,
Д.В. Стороженко
(Владивостокский государственный университет экономики и сервиса)

СИСТЕМА НЕЧЕТКИХ ВЫВОДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПАССИВНОЙ ГИДРОАКУСТИКИ

Предложена модель обработки гидроакустических данных с использованием технологий нечеткого вывода. Приведен пример построения системы принятия решения об обнаружении технического объекта с использованием нечетких алгоритмов.

Ключевые слова: аппарат нечеткой логики, априорная неопределенность, цифровая обработка сигналов, моделирование.

Введение

Актуальность рассматриваемой в данной статье задачи вызвана необходимостью повысить эффективность методов обнаружения средствами пассивной гидроакустики технических объектов в морской среде, а также поднять уровень автоматизации при принятии решений.

Среди существующих систем пассивной гидроакустики можно выделить систему обнаружения на основе применения дрейфующих пространственно-распределенных гидроакустических датчиков (ДПГРД). В качестве объекта для исследования алгоритмов обнаружения выбрана подобная система, для повышения эффективности которой нужны разработка и внедрение новых алгоритмов принятия решений.

Постановка задачи

Требуется определить степень присутствия технического объекта (далее ТО) в данной акватории в приближенных к режиму реального времени условиях.

Основным источником сигнала при обнаружении технических объектов является шумовое акустическое излучение. В рассматриваемой системе ДПГРД акустический сигнал принимается гидрофоном датчика и в режиме реального времени транслируется по радиоканалу в вычислительный центр, где осуществляется многоканальная обработка данных.

Реализация устройства принятия решения об обнаружении ТО с помощью классических подходов требует построения математической модели, учитывающей множество параметров, которые не удастся точно спрогнозировать или формализовать.

Например, известно, что на уровень энергии в точке приема оказывает влияние местоположение датчика относительно объекта. С перемещением объекта датчик может оказаться в зоне акустической освещенности, и тогда на пограничной дистанции происходят скачкообразные изменения энергии [1]. Причем для расчета этих зон необходимо учитывать множество параметров морской среды – таких как температура, соленость, характер течений, рельеф и состав дна, наличие ледяного покрова и т.д. Четкое описание данных параметров крайне затруднительно, особенно в условиях априорной неопределенности направления и скорости ТО. В результате принятие решений в режиме реального времени в таких условиях возможно лишь опытным оператором или экспертом.

Для решения поставленной задачи с вышеописанной особенностью целесообразно применить алгоритмы, соответствующие концепции мягких вычислений, а именно нечеткие системы, которые допускают отсутствие четкой формализованности входных параметров [2].

Модель, представленная в данной работе, предназначена для наглядной демонстрации применения системы нечеткого принятия решения об обнаружении ТО на примере анализа энергетической составляющей гидроакустического (далее – ГА) сигнала. Используемые в модели алгоритмы разрабатывались с учетом последующего их применения в режиме реального времени. Таким образом, накладываются дополнительные ограничения на требуемую вычислительную мощность и время реакции системы.

Модель обработки

Программной средой моделирования и отработки нечетких правил выбран пакет MATLAB с готовыми наборами алгоритмов цифровой обработки сигналов и конструктором систем нечеткого вывода *FIS editor* [3].

Представляемая модель содержит три вычислительных модуля:

модуль вычисления средней за одну секунду энергии гидроакустического (ГА) сигнала в задаваемом частотном диапазоне и с выбранным объемом буфера БПФ (быстрого преобразования Фурье). Из спектра акустического сигнала экспертом выбирается наиболее информативный диапазон. Этот модуль делает предварительную обработку и формирует вектор данных энергии ГА сигнала, используемый при основном анализе;

модуль вычисления усредненных значений энергии, среднеквадратического отклонения (СКО) и производных с изменяемой шириной окна усреднения;

модуль нечеткого принятия решений, разработанный в графическом модуле *FIS-editor* пакета MATLAB.

Решение, принимаемое данной моделью, представляет собой оценку степени присутствия технического объекта в зоне определенного радиуса действия одного из датчиков ДПРГД системы и основано на анализе энергии – ГА сигнала.

Следует отметить, что анализ энергии ГА – сигнала – это одна из типовых процедур в задачах гидроакустики и используется в качестве источника данных для следующей фазы обработки информации.

Пример нечеткого оценивания

На рис. 1 представлена диаграмма усредненных значений энергии в частотном диапазоне 50-600 Гц для четырех каналов. Продолжительность наблюдения составляет около 26 минут и состоит из 1500 тактов, где длительность такта – одна секунда.

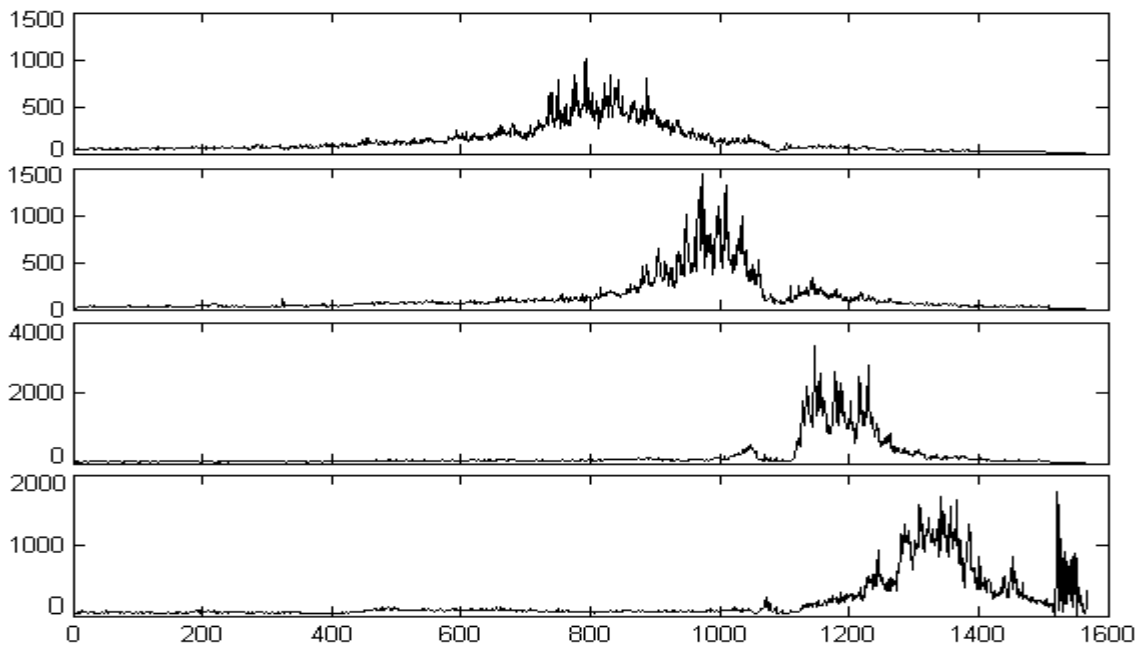


Рис. 1. Временная диаграмма усредненных значений энергии для четырех каналов.

Основным параметром оценки степени присутствия является уровень энергии, причем для сглаживания шумов можно применить усреднение с шириной окна не более 10 тактов. Дополнительные параметры, влияющие на оценку, формируются из следующих выводов, сделанных из графического анализа рис. 1:

с приближением ТО к датчику увеличивается среднеквадратическое отклонение значений энергии;

плавное увеличение или убывание энергии также косвенно указывает на присутствие ТО. Показатель роста или убывания не что иное, как результат дифференцирования энергии.

Таким образом, оценка степени присутствия ТО будет производиться на основании уровня энергии, значения СКО, вычисленного для заданной длины выборки и сглаженного за некоторую ширину окна результат дифференцирования.

Для оценки минимального прохождения ТО к датчику можно применять аппроксимирующие полиномы и на основании уровня энергии и производной от полиномов определять момент траверса, однако данный анализ требует длительного накопления информации – не менее чем за 400 тактов.

Расчет СКО (рис. 2) и результат дифференцирования (рис. 3) выполнены

стандартными функциями пакета MATLAB: *std* и *diff* [4].

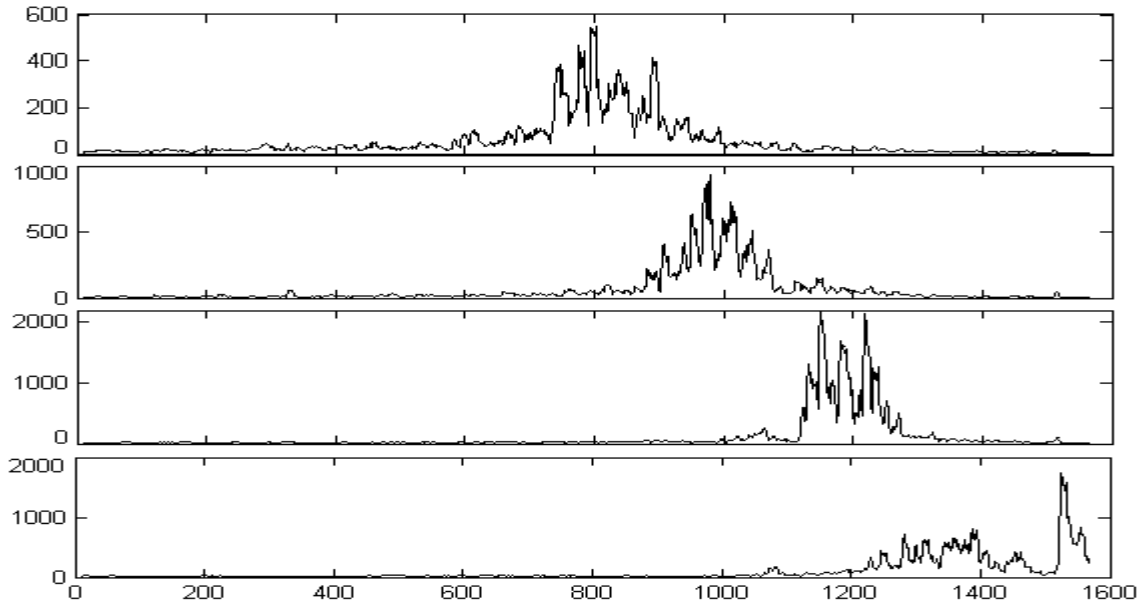


Рис. 2. Диаграмма СКО для четырех каналов.

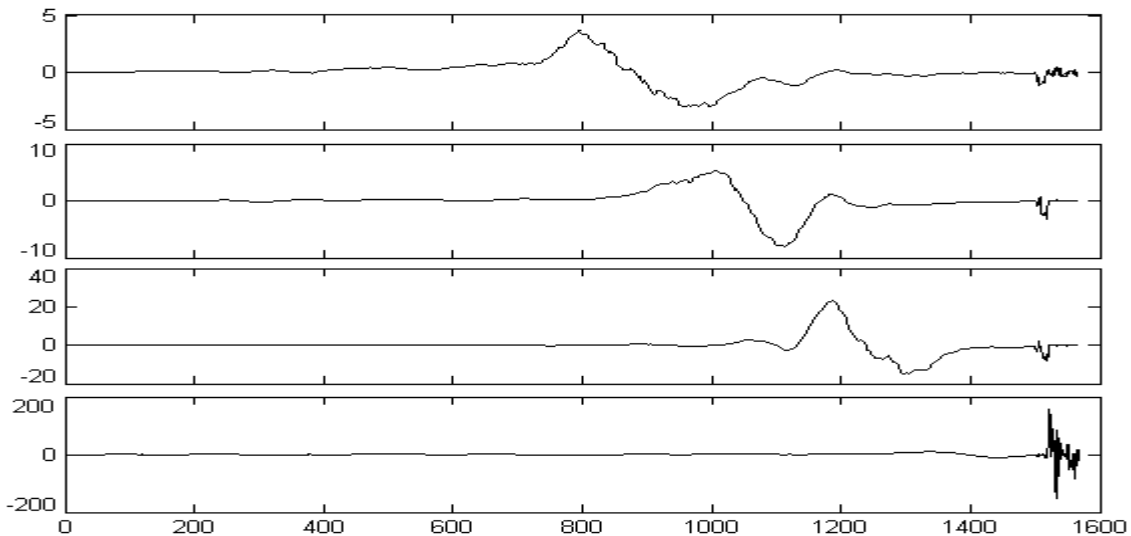


Рис. 3. Диаграмма сглаженного результата дифференцирования для четырех каналов.

Полученные данные поступают на вход системы нечетких выводов. Типовая структурная схема нечеткого алгоритма принятия решений показана на рис. 4. Система имеет блоки фаззификации и дефаззификации, базу знаний, состоящую из базы правил и базы данных, в которой содержатся функции принадлежности.

Разработка системы нечеткого вывода, как правило, осуществляется следующими этапами [3]:

этап 1 – определение входных переменных. Входные переменные для данной модели – «ЭНЕРГИЯ» (рис. 5), «СКО» (рис. 6) и «ПРОИЗВОДНАЯ» (рис. 7). Для каждой из них устанавливается область определений и область значений, а также вид и параметры функций принадлежности;

этап 2 – определение выходных лингвистических переменных. Аналогичным способом задаются вид и параметры функции принадлежности для выходной переменной. Пространство лингвистической переменной «Степень присутствия

ТО», разбитой на три нечетких множества «ШУМ», «НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ» и «есть ТО» (рис. 8);

этап 3 – формирование базы правил. База правил формируется из набора нечетких «если – то» на основе экспертных знаний (рис. 9). Для каждого правила устанавливается весовой коэффициент.

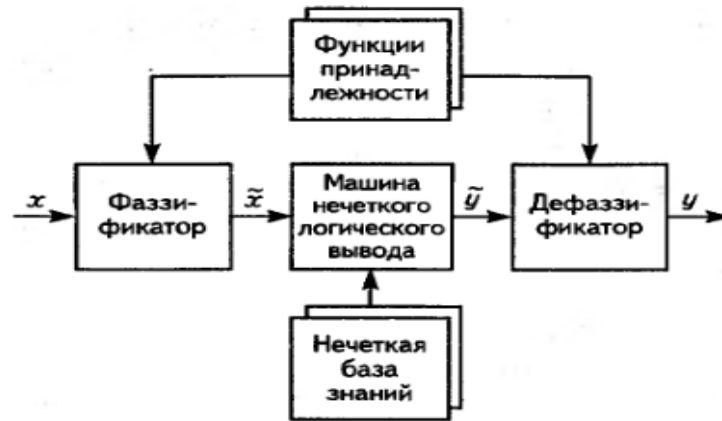


Рис. 4. Структура нечеткой системы.

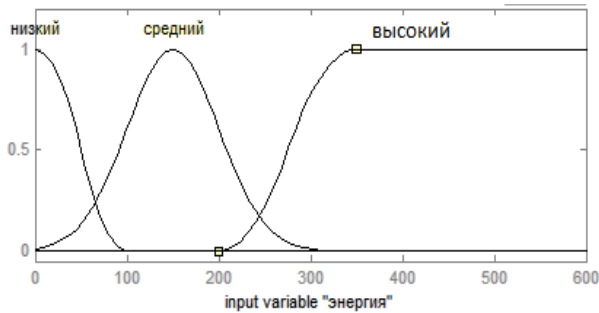


Рис. 5. Входная переменная «ЭНЕРГИЯ».

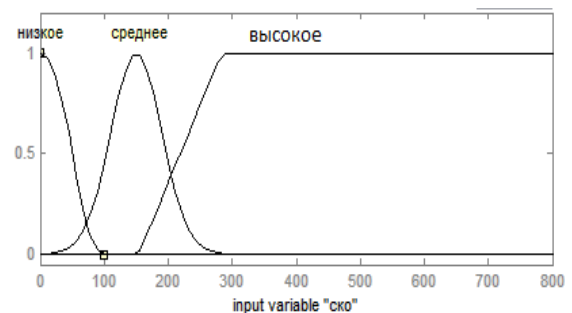


Рис. 6. Входная переменная «СКО».

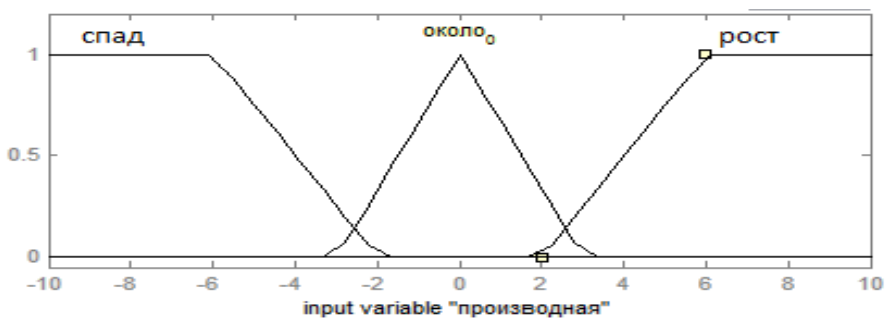


Рис. 7. Входная переменная «ПРОИЗВОДНАЯ».

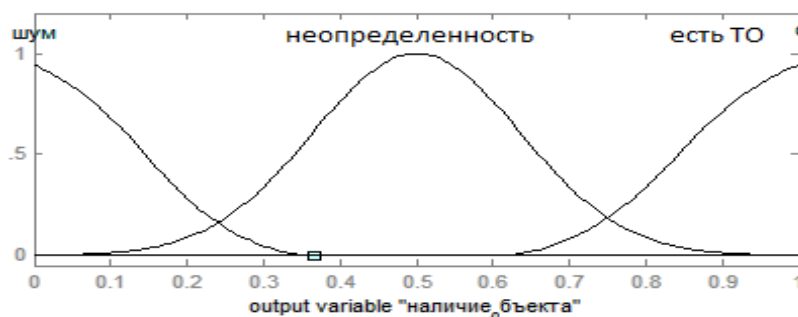


Рис. 8. Выходная переменная оценка степени присутствия ТО.

1. If (энергия is низкий) and (производная is около_0) and (ско is низкое) then (наличие_объекта is шум) (1)
2. If (энергия is средний) and (производная is около_0) and (ско is низкое) then (наличие_объекта is неопределенно) (1)
3. If (энергия is высокий) and (производная is около_0) and (ско is низкое) then (наличие_объекта is неопределенно) (1)
4. If (энергия is низкий) and (производная is выше_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is неопределенно) (0.7)
5. If (энергия is низкий) and (производная is меньше_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is неопределенно) (0.7)
6. If (энергия is средний) and (производная is около_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is шум) (1)
7. If (энергия is средний) and (производная is выше_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is неопределенно) (0.6)
8. If (энергия is средний) and (производная is выше_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is точно_есть) (0.6)
9. If (энергия is средний) and (производная is меньше_0) and (ско is среднее) then (наличие_объекта is точно_есть) (0.6)
10. If (энергия is высокий) and (производная is not около_0) and (ско is not низкое) then (наличие_объекта is точно_есть) (1)

Рис. 9. База нечетких правил.

Результаты моделирования проиллюстрированы на рис. 10 – 13.

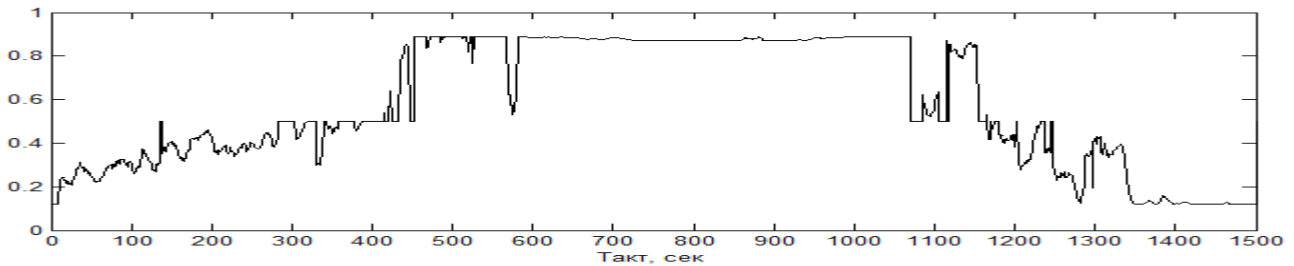


Рис. 10. Диаграмма оценок степени присутствия ТО канала №1.

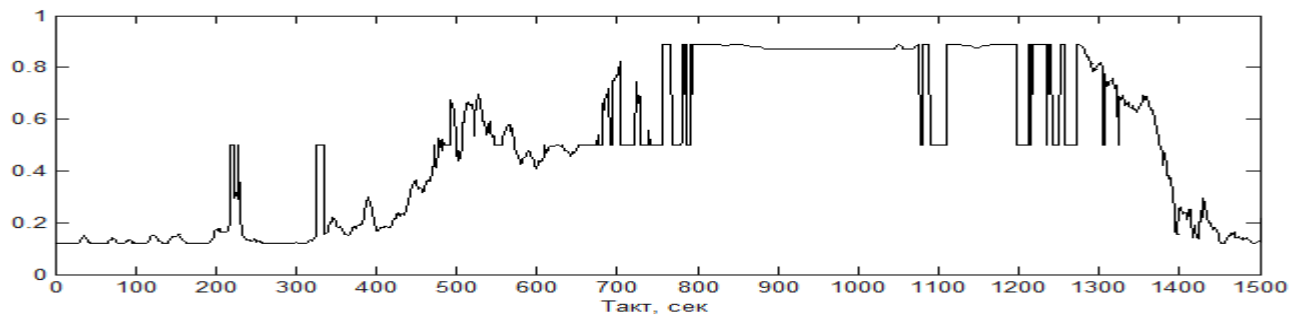


Рис. 11. Диаграмма оценок степени присутствия ТО канала №2.

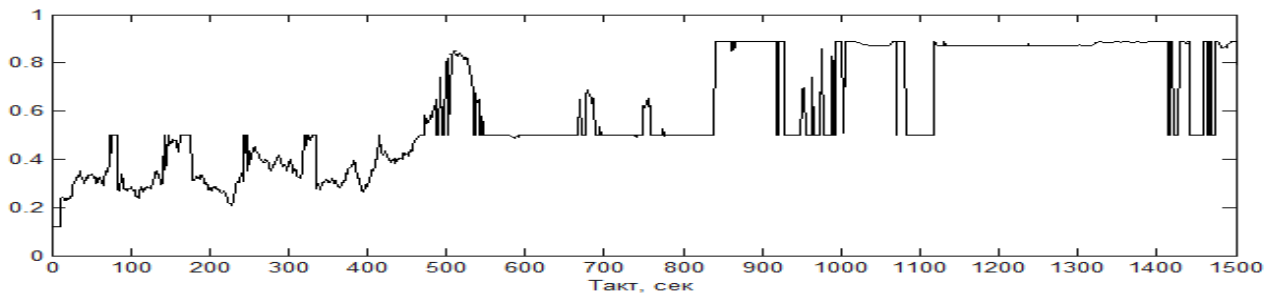


Рис. 12. Диаграмма оценок степени присутствия ТО канала №3.

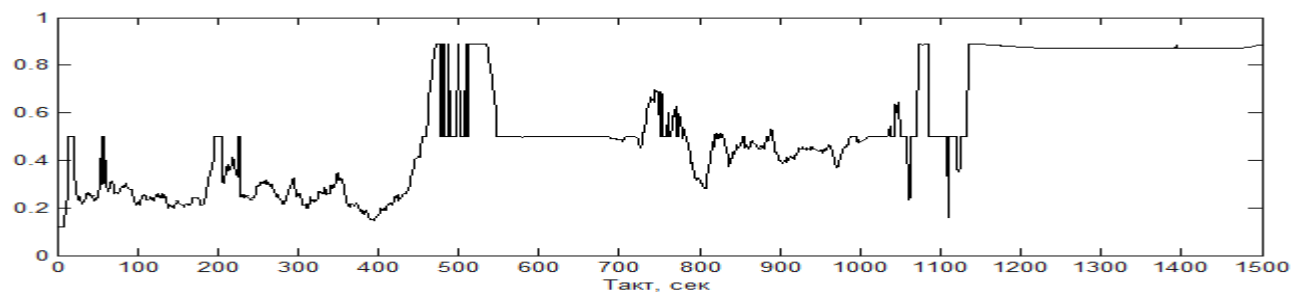


Рис. 13. Диаграмма оценок степени присутствия ТО канала №4.

Как видно из рис. 10, система дает максимальную оценку степени присутствия ТО для 1 канала на интервале [420,1080]. На интервалах [520,600], [1100,1200] наблюдаются колебания оценки от «*есть ТО*» в сторону «*НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ*». Дальнейшее повышение точности и устойчивости результата достигается за счет настройки системы, а именно подстройки параметров функций принадлежности и коэффициентов нечетких правил. Настройка системы может производиться экспертом или на основе эталонных оценок существующими алгоритмами оптимизации. Программный пакет МАТЛАБ содержит библиотеку «*Optimization toolbox*», и в работе [4] изложена методика настройки нечеткой системы функциями данной программной библиотеки.

Заключение

Представленная в статье модель демонстрирует возможность применения нечетких систем для автоматизации принятия решения о наличии объекта в акватории на основе примитивного анализа энергии гидроакустического сигнала. Преимущество такого подхода заключается в простоте и доступности применения накопленного опыта экспертов в алгоритмическом исполнении, с возможностью включения дополнительных параметров и правил без перенастройки всей системы в целом.

Это позволяет использовать нечеткие системы в устройствах автоматического регулирования и управления без участия оператора. Разработанный программный инструментариум обеспечивает экспериментальную проверку и отработку правил нечеткой логики для выбора оптимальных для выбранной методики предварительной обработки ГА – сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко В.В. Современные тенденции развития гидроакустических методов подводного наблюдения //Труды Нижегородской акустической научной сессии / ред. С.Н.Гурбатов. Н. Новгород: ТАЛАМ, 2000 – С.15-16.
2. Рудинский А.В., Ермоленко А.С., Сиек Ю. Л. Нейросетевой алгоритм обнаружения гидроакустических сигналов. //Нейроинформатика – 2000. 2-я Всероссийская научно-техн. конф. Сб. науч. трудов – Ч.1. – М.: 2000.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами МАТЛАБ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
4. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – №1.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Клещевым.

E-mail:

Бородин А.Е. – alexbor_spp@mail.ru;

Номоконова Н.Н. – natalya.nomokonova@vvsu.ru;

Стороженко Д.В. – dimvvsu@rambler.ru.