

УДК 681.3

СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗДАВАЕМОМУ ИМИ АКУСТИЧЕСКОМУ ШУМУ

Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил, Рыбочкин А.Ф.

*Юго-Западный государственный университет, Курск,
e-mail: Shamsan84@mail.ru, anat_ryboch@mail.ru*

Информационные составляющие, которые содержит акустический шум объекта, является источником информации об его состоянии. В данной работе рассмотрена возможность комплексной диагностики состояний объекта, издающего акустический шум с использованием образов спектров, а именно: распознавание их многочисленных состояний путем анализа издаваемого акустического шума. Образы спектров, которые можно кодировать, получены в наиболее информативном частотном диапазоне акустического шума объекта (на примере акустического шума пчелиных семей) 60–600 Гц с использованием четырех узкополосных фильтров, настроенных на информативные полосы частот 205–225, 280–300, 325–345, 390–410 Гц. При анализе акустического шума объекта последовательность выпадающих кодов характеризует его состояние. Показана возможность диагностирования путём построения классов состояний на двумерной плоскости, а также оценивание степени принадлежности неизвестного состояния к известным состояниям с путём вычисления минимальной средней абсолютной погрешности условных вероятностей и минимальной абсолютной погрешности условных энтропий. Такой способ позволит более достоверно диагностировать состояния объектов, издающих акустический шум, с меньшими трудовыми затратами.

Ключевые слова: пчёлы, состояния, распознавание, образы спектров, кодовые сообщения, класс состояний

METHODS OF DIAGNOSING STATE OF THE OBJECT BY PUBLISHED BY ACOUSTIC NOISE

Mohsen Shamsan, Rybochkin A.F.

South-West State University, Kursk, e-mail: Shamsan84@mail.ru, anat_ryboch@mail.ru

Information components, which contains the acoustic noise of the object that is the source of information about his condition. In the present paper, the possibility of complex diagnostics of States of the object emitting acoustic noise using images of the spectra, namely: recognition of their many States, by analyzing the emitted acoustic noise. The images of the spectra, which can be coded obtained in the most informative frequency band of the acoustic noise of the object (for example, acoustic noise bee families) 60–600 Hz using four narrow-band filters configured on the informative frequency band 205–225, 280–300, 325–345, 390–410 Hz. In the analysis of acoustic noise sequence object drop-down codes characterizes his condition. The possibility of diagnosis by constructing classes of States in a two-dimensional plane, and evaluating the degree of membership of an unknown state to a known state by calculating the minimum average absolute error of conditional probabilities and the minimum absolute error of the conditional entropies. Such a process will allow more reliably diagnose the condition of the objects produces an acoustic noise with lower labor costs.

Keywords: bees, status, recognition, the images of the spectra, coded messages, the class of States

Информационные составляющие, которые содержит акустический шум объекта, является источником информации об его состоянии. Решение этой задачи может быть применено при декодировании состояний любых объектов, издающих акустический шум. На примере объектов, издающих акустический шум (пчелиных семей), рассмотрим контроль их состояний. Е.К. Ёськовым [1] установлен наиболее информативный частотный диапазон от 60 до 600 Гц акустического шума пчелиной семьи.

А.Ф. Рыбочкин [2] предложил метод нахождения наиболее информативных частотных полос анализируемого частотного диапазона (60–600) Гц. Способ, основанный на использовании четырех полосовых фильтров с шириной полосы $\Delta f = 30$ Гц, настроенных на наиболее информативные

места данного частотного диапазона, который позволяет значительно упростить программную и аппаратную реализацию диагностируемых устройств.

Рассмотрена возможность диагностирования состояний пчелиных семей путём анализа издаваемого ими акустического шума с использованием устройства, приведённого на рис. 1 [4].

Структурная схема устройства для анализа акустических шумов пчелиных семей содержит: микрофон – 1, усилитель – 2, блок узкополосных частотных фильтров – 3, блок детекторов средневыпрямленного значения – 4, микроконтроллер с аналого-цифровыми преобразователями по числу узкополосных частотных фильтров – 5, блок связи – 6, персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ) – 7, блок питания – 8.

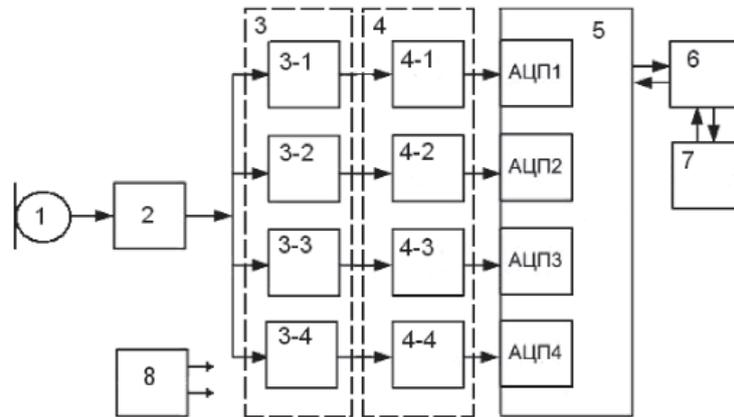


Рис. 1. Устройство для анализа акустических шумов пчелиных семей путём формирования образов спектров

Устройство для анализа акустических шумов пчелиных семей по их акустическому шуму работает следующим образом: звуковой сигнал с микрофона 1 поступает на усилитель 2. Для выделения наиболее информативных узких полос частот используется блок узкополосных частотных фильтров 3 [3–5], было применено четыре узкополосных частотных фильтра с полосами частот 205–225, 280–300, 325–345, 390–410 Гц. Выделенные сигналы с выходов узкополосных частотных фильтров 3 поступают в блок детекторов 4 средневыврапрявленного значения. Детектированные значения напряжений поступают в аналого-цифровые преобразователи АЦП1, АЦП2, АЦП3 и АЦП4 микроконтроллера 5, который через блок связи 6 передает результаты аналого-цифрового преоб-

разования на ПЭВМ 7, где происходит их кодирование и сохранение в ПЗУ. В свою очередь ПЭВМ 7 управляет работой микроконтроллера 5.

ПЭВМ 7 получает информацию в виде кодовых таблиц (табл. 1).

Дальнейшая работа с полученными данными может производиться следующими способами.

Способ № 1. Отображение состояний пчелиных семей на двумерную плоскость с соблюдением ранжированного размещения кодов.

Для создания базы данных прослушивались пчелиные семьи с различными состояниями. Далее на двумерной плоскости отображающего экрана построили координатные точки, которые характеризуют состояние пчелиной семьи.

Таблица 1

Частоты появлений кодов и их виды для установленных состояний пчелиных семей

Состояния	Реализации x_i	Коды B_j и их виды, k_{ji} – частоты появления B_j кодов							
		y_j							
		B_1	B_2	B_3	...	...	B_{N-2}	B_{N-1}	B_N
		$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	...	...	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$
A_1	1	k_{11}	k_{12}	k_{13}$	...	...	K_{1\ 22}$	$K_{1\ 23}$	$k_{1\ 24}$
	n	k_{n1}	k_{n2}	k_{n3}$	...	...	k_{n\ 22}$	$k_{n\ 23}$	$k_{n\ 24}$
A_2	1	k_{11}	k_{12}	k_{13}$	...	...	K_{1\ 22}$	$K_{1\ 23}$	$k_{1\ 24}$
	n	k_{n1}	k_{n2}	k_{n3}$	...	...	k_{n\ 22}$	$k_{n\ 23}$	$k_{n\ 24}$

A_n	1	k_{11}	k_{12}	k_{13}$	...	...	K_{1\ 22}$	$K_{1\ 23}$	$k_{1\ 24}$
	n	k_{n1}	k_{n2}	k_{n3}$	...	...	k_{n\ 22}$	$k_{n\ 23}$	$k_{n\ 24}$

В ходе анализов акустического шума пчелиных семей, а также построением точек координат схожих состояний установлено, что точки группируются на близких расстояниях, т.е. формируют класс состояний.

Способ № 2. Диагностирование состояний пчелиных семей с использованием вероятностно-статистических методов. Выявление принадлежности неизвестного состояния к известному классу состояний по минимально абсолютной разности: условных вероятностей, условных энтропий.

Первоначально необходимо накопить табл. 1 состояний A_i пчелиных семей с её диагностическими признаками с использованием устройства рис. 1.

С применением алгоритма (рис. 2) проводится вычисление координат состояний на двумерной плоскости, осуществляется построение классов состояний, также по последовательности наблюдаемых кодов строятся матрицы состояний, подсчитываются условные вероятности каждого состояния и вероятности состояний $P(A_i)$.

С использованием экспериментальных данных определяют апостериорные вероятности $P(B_j/A_i)$, где событие B_j (выпадающий код) произошло при условии, что произошло событие A_i контролируемого состояния диагностируемой пчелиной семьи. Апостериорная вероятность $P(B_j/A_i)$ (A_i – диагностируемое i -состояние, индекс j показывает номер кода от 1 до $M!$) определяется согласно выражению (1) апостериорная энтропия согласно (2)

$$P\left(\frac{B_j}{A_i}\right) = \frac{k_{ji}}{L_i}, \quad (1)$$

где L_i – количество кодов реализации [2].

$$H\left(\frac{B_j}{A_i}\right) = -\sum_{j=1}^{M!} \frac{k_{ji}}{L_i} \log_2 \frac{k_{ji}}{L_i}. \quad (2)$$

Для определения вероятности состояния $P(A_i)$ применим формулу

$$P(A_i) = \frac{L_i}{S}, \quad (3)$$

где S – суммарное количество кодов таблицы известных состояний.

Энтропия состояния определяется согласно выражению (4)

$$H(A) = \sum_{i=1}^q \frac{L_i}{S} \log_2 \frac{L_i}{S}. \quad (4)$$

Для вычисления вероятностей появления B_j кодов $P(B_j)$ применим формулу

$$P(B_j) = \sum k_j / S, \quad (5)$$

где $\sum k_j$ – суммарное количество каждого B_j кода выборки всех известных состояний.

Априорная энтропия B_j кода определяется согласно выражению

$$H(B) = -\sum_{j=1}^{M!} \frac{k_j}{S} \log_2 \frac{k_j}{S}. \quad (6)$$

Для вычисления условных вероятностей (априорных) $P(A_i/B_j)$ применим формулу

$$P\left(\frac{A_i}{B_j}\right) = \frac{k_{ji}}{\sum k_j}. \quad (7)$$

Условная энтропия определяется согласно выражению

$$H\left(\frac{A}{B_j}\right) = -\sum_{j=1}^s \frac{k_{ji}}{\sum k_j} \log_2 \frac{k_{ji}}{\sum k_j}. \quad (8)$$

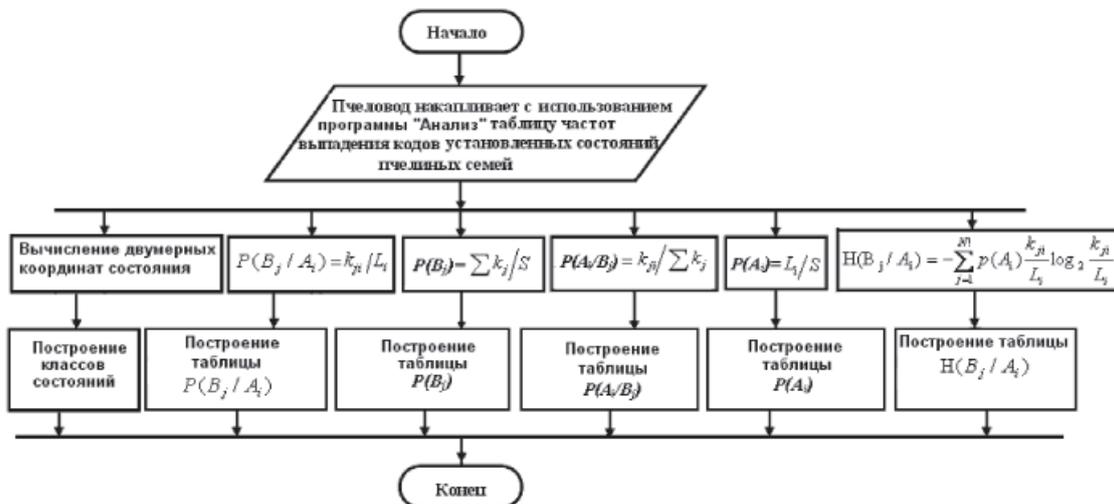


Рис. 2. Алгоритм подготовки данных для диагностирования состояний пчелиных семей

Совместная вероятность двух событий определяется по формуле

$$P(A_i B_j) = \frac{k_{ji}}{S}. \quad (9)$$

Совместная энтропия установленной выборки определяется по формуле

$$H(AB) = -\sum_{j=1}^q \frac{k_{ji}}{S} \log_2 \frac{k_{ji}}{S}. \quad (10)$$

С применением формул (11), (12) проверяется сходимость табл. 5:

$$H(AB) = H(B) + H\left(\frac{A}{B}\right); \quad (11)$$

$$H(AB) = H(A) + H\left(\frac{B}{A}\right). \quad (12)$$

Диагностирование состояния пчелиной семьи осуществляется в течение времени от 3 до 10 минут прослушивания пчелиной семьи. Алгоритм подготовки исходных данных для диагностирования состояний пчелиных семей приведён на рис. 1. Далее установление

состояния пчелиной семьи осуществляется с применением формулы

$$P\left(\frac{A_i}{B_j}\right) = \frac{P(A_i)P(B_j/A_i)}{P(B_j)}, \quad (13)$$

а также с применением формулы

$$H\left(\frac{B_j}{A_n}\right) = -\sum_{j=1}^m p(A_n) p\left(\frac{B_j}{A_n}\right) \log_2 p\left(\frac{B_j}{A_n}\right). \quad (14)$$

В ходе исследований для установленных состояний экспертом-пчеловодом наблюдали частоты появлений кодов, табл. 2: 1–4 пчелиные семьи в рабочем состоянии, носят мёд. 5–11 пчелиные семьи в роевом состоянии. 12–15 зимуют сильные пчелиные семьи –22°C. 16–20 пчелиные семьи тревожат мышь. 21–24 зимуют средней силы пчелиные семьи –22°C. 25–28 зимуют пчелиные семьи небольшой силы –22°C. 29–30 подсадка новой матки на одной рамке, здесь же присутствует родная матка. 31–33 поведение пчёл по истечении времени – реакция пчёл на другую матку. 34–37, рамка пчёл без матки. 38–40 – реакция пчёл на новую матку, матка не принимается. 41–43 – поведение пчёл по истечении времени, матка принята.

Таблица 2

Частоты выпадения кодов установленных состояний пчелиных семей

№ п/п		04	06	07	14	46	47	54	63	67	74	76	77
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	93	19	42	9	–	10	1	–	1	–	2	5	4
2	73	30	–	–	17	–	–	15	–	–	11	–	–
3	111	22	43	11	13	2	–	–	–	–	15	–	5
4	112	18	48	12	16	5	–	–	–	–	7	6	–
5	100	–	3	–	–	3	–	–	–	42	19	31	2
6	135	7	–	4	–	–	–	–	–	45	40	33	6
7	80	6	–	–	14	–	–	25	–	–	35	–	–
8	91	9	–	8	–	–	–	–	–	30	16	26	2
9	100	19	9	–	11	10	–	–	2	9	30	8	2
10	69	–	–	–	–	–	–	2	–	–	65	–	2
11	64	–	–	–	–	–	–	–	–	–	53	–	11
12	95	1	57	1	–	30	5	–	–	1	–	–	–
13	108	13	–	27	15	35	–	–	–	10	5	–	3
14	91	–	9	30	19	18	–	–	–	6	5	4	–
15	97	17	–	33	21	15	–	–	1	5	–	3	2
16	100	–	52	–	–	16	–	–	–	32	–	–	–
17	160	18	–	46	–	–	–	–	–	34	–	22	40
18	171	–	29	37	–	–	–	–	–	48	–	27	30
19	124	–	–	33	–	22	–	–	–	37	–	32	–
20	158	35	–	37	–	30	–	–	–	35	–	21	–
21	96	–	13	–	–	16	–	–	–	53	–	12	2
22	86	–	15	–	–	19	–	–	–	32	–	15	5

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
23	77	–	–	25	–	9	–	–	–	23	–	20	–
24	75	–	17	12	–	8	–	–	–	14	–	24	–
25	100	–	–	–	–	10	–	–	–	70	–	17	3
26	100	–	–	–	–	4	2	–	–	49	–	41	4
27	94	–	–	–	–	6	5	–	–	39	–	30	14
28	77	–	–	–	–	8	4	–	–	40	–	25	–
29	103	10	12	11	–	14	8	–	–	24	–	15	9
30	82	4	9	8	–	12	7	–	–	26	–	9	7
31	45	–	–	–	–	3	–	–	–	21	–	16	5
32	35	–	–	–	–	2	–	–	–	16	–	12	5
33	32	–	–	4	–	4	–	–	–	11	–	9	4
34	81	15	19	5	–	6	–	–	2	27	–	5	2
35	66	10	7	6	–	13	9	–	–	12	–	8	1
36	65	–	–	–	–	11	–	–	–	29	–	17	8
37	30	–	–	6	–	–	–	–	–	18	–	4	2
38	25	–	–	–	–	2	–	–	–	17	–	6	–
39	56	–	–	–	–	–	–	–	–	19	8	22	7
40	32	–	–	–	–	–	–	–	–	15	3	8	6
41	48	19	–	–	–	5	–	–	–	18	–	6	–
42	54	–	–	12	–	6	–	–	–	25	–	11	–
43	57	8	–	–	–	7	–	–	–	27	–	15	–
Σ	3648	280	384	377	126	361	41	42	6	959	314	565	193

Таблица 3

Реализация кодов неизвестного состояния

L_1	04	06	07	14	46	47	54	63	67	74	76	77
82	20	35	8	1	8	–	–	1	–	3	4	2

Диагностирование неизвестного состояния пчелиной семьи (табл. 3) проведено с использованием алгоритма (рис. 3).

Определили апостериорную вероятность кодов $P(B_j/A_{шт})$ неизвестного состояния по формуле (1). Для кодов, приведённых в таблице 2, по формуле (3) вычислили априорные вероятности $P(B_j)$. Вычисленное значение апостериорной вероятности $P(B_j/A_{шт})$ неизвестного состояния пчелиной семьи и вычисленную априорную вероятность $P(B_j)$ по данным табл. 2, подставляем в формулу (5). Вероятности $P(A_i)$ известных состояний пчелиных семей нам известны, используя данные, приведённые в табл. 2, и вычисленную апостериорную вероятность неизвестного состояния по формуле (5), осуществляем вычисление условных вероятностей состояния пчелиной семьи $P(A_i/B_j)$.

Используя данные известных состояний, приведённые в табл. 2, вычисляем апостериорные вероятности $P(A_i/B_j)$ выбранного кода по формуле (4).

Проводим вычисление разности условных вероятностей $P(A_i/B_j)$, вычисленных по формулам (4) и (5) $P(A_{шт}^i/B_j) - P(A_i/B_j) = \Delta_{ij}$ для каждого B_j кода состояния. Для каждого состояния вычисляется средняя разность условной вероятности состояния. Та средняя разность условных вероятностей Δ_{ij} , которая окажется наименьшей, будет соответствовать состоянию, приведённому в табл. 2. Таким образом, мы диагностируем состояние пчелиной семьи.

Выдача диагностических сообщений выдаётся на дисплей компьютера как в виде таблиц, в виде рисунков классов состояний (рис. 4), так и в виде текста, описывающего состояние пчелиной семьи.

В ходе проведённых вычислений с использованием формул (4) и (5) анализировалась принадлежность неизвестного состояния к известному состоянию, приведённому в табл. 2.

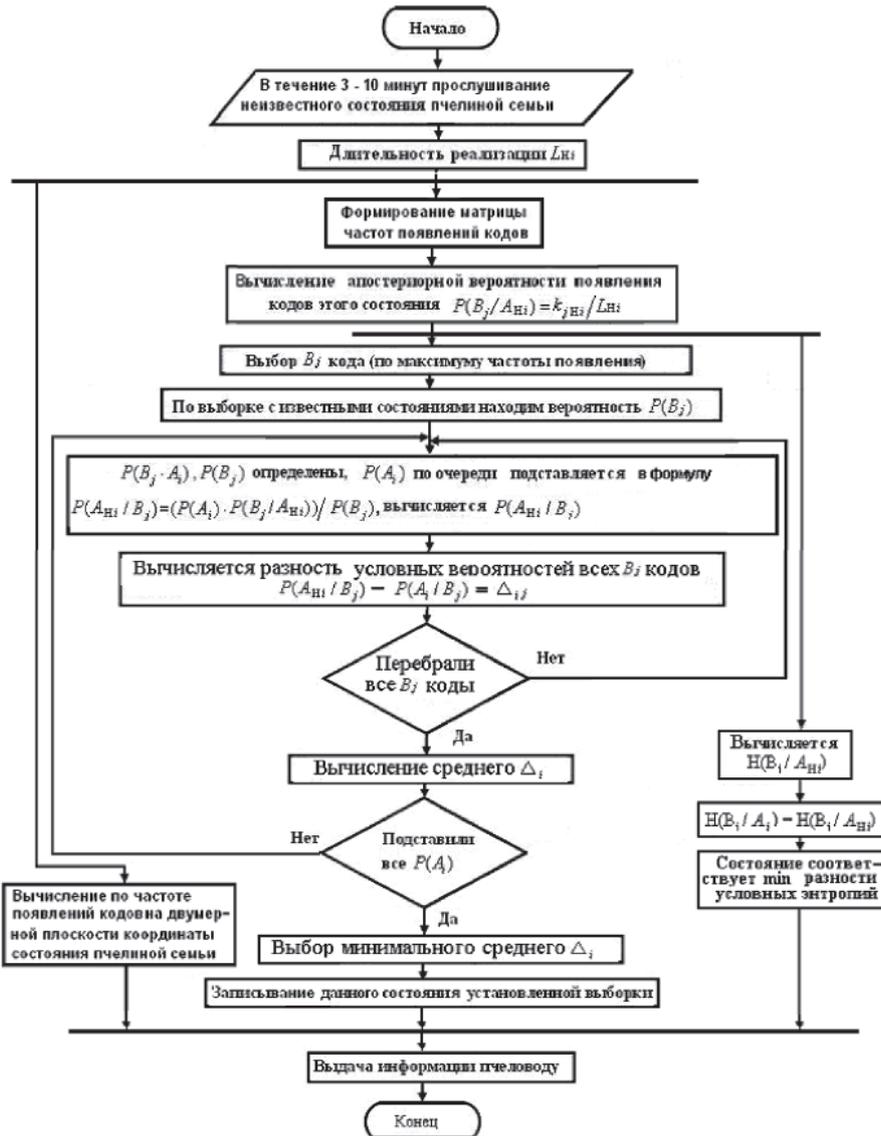


Рис. 3. Алгоритм диагностирования состояния пчелиной семьи

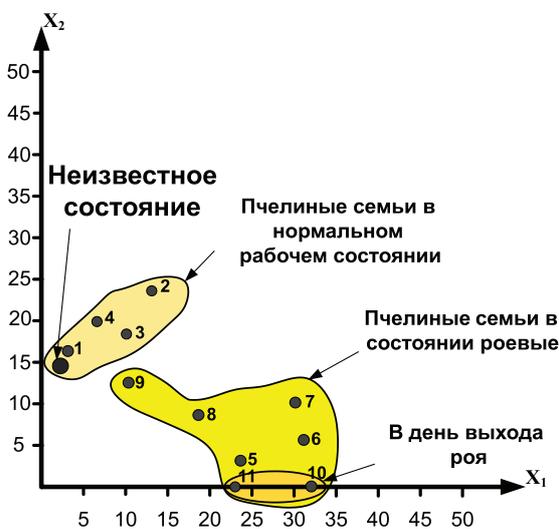


Рис. 4. Классы состояний пчелиных семей

Абсолютная средняя погрешность в принятии решения в принадлежности к первому состоянию $\Delta_1 = 0,006$. Тогда как при проверке принадлежности к остальным состояниям абсолютная средняя погрешность приведена в табл. 4.

С применением формулы (14) была вычислена апостериорная энтропия неизвестного состояния, которая составила $H(B_j/A_{ni}) = 0,0585676$ бит, тогда как апостериорная энтропия известного первого состояния, которая составила $H(B_j/A_{ni}) = 0,058343$ бит, т.е. минимальная разность равна $0,0002246$ бит, что указывает на принадлежность неизвестного состояния к первому состоянию, приведённому в табл. 2.

Из всех приведённых средних абсолютных погрешностей условных вероятностей $\Delta P(B_j/A_i)$ самая наименьшая относится к первому состоянию.

Таблица 4

Таблица абсолютных погрешностей условных вероятностей $\Delta P(B_j/A_i)$ принятия решения в принадлежности к состоянию

$\Delta_1 := 0.00023$	$\Delta_8 := 0.002:59$	$\Delta_{15} := 0.00197$	$\Delta_{22} := 0,01839$	$\Delta_{29} := 0.01590$	$\Delta_{36} := 0.00923$	$\Delta_{43} := 0.00878$
$\Delta_2 := 0.00304$	$\Delta_9 := 0,01239$	$\Delta_{16} := 0.02492$	$\Delta_{23} := 0.00916$	$\Delta_{30} := 0.00962$	$\Delta_{37} := 0.00653$	
$\Delta_3 := 0.00100$	$\Delta_{10} := 0.032J1$	$\Delta_{17} := 0.00478$	$\Delta_{24} := 0.00243$	$\Delta_{31} := 0.00855$	$\Delta_{38} := 0.00812$	
$\Delta_4 := 0.00068$	$\Delta_{11} := 0.02962$	$\Delta_{18} := 0.00291$	$\Delta_{25} := 0.02933$	$\Delta_{32} := 0.00639$	$\Delta_{39} := 0.00789$	
$\Delta_5 := 0.01173$	$\Delta_{12} := 0.02477$	$\Delta_{19} := 0.01268$	$\Delta_{26} := 0.02283$	$\Delta_{33} := 0.00159$	$\Delta_{40} := 0.00459$	
$\Delta_6 := 0.00849$	$\Delta_{13} := 0.00320$	$\Delta_{20} := 0.00232$	$\Delta_{27} := 0.01054$	$\Delta_{34} := 0.00351$	$\Delta_{41} := 0.00755$	
$\Delta_7 := 0.01232$	$\Delta_{14} := 0.00324$	$\Delta_{21} := 0.014S2$	$\Delta_{28} := 0.01625$	$\Delta_{35} := 0.00874$	$\Delta_{42} := 0.00789$	

Таблица 5

Таблица абсолютных погрешностей условных энтропий $\Delta P(B_j/A_i)$ принятия решения в принадлежности к состоянию

$\Delta_1 := 0.00023$	$\Delta_8 := 0.00259$	$\Delta_{15} := 0.00197$	$\Delta_{23} := 0.00916$	$\Delta_{30} := 0.00962$	$\Delta_{37} := 0.00653$	$\Delta_{43} := 0.00878$
$\Delta_2 := 0.00904$	$\Delta_9 := 0.01239$	$\Delta_{16} := 0.02492$	$\Delta_{24} := 0.00243$	$\Delta_{31} := 0.00855$	$\Delta_{38} := 0.00812$	
$\Delta_3 := 0.00100$	$\Delta_{10} := 0.03251$	$\Delta_{17} := 0.00478$	$\Delta_{25} := 0.02933$	$\Delta_{32} := 0.00639$	$\Delta_{39} := 0.00789$	
$\Delta_4 := 0.00068$	$\Delta_{11} := 0.02962$	$\Delta_{18} := 0.00291$	$\Delta_{26} := 0.02283$	$\Delta_{33} := 0.00159$	$\Delta_{40} := 0.00459$	
$\Delta_5 := 0.01173$	$\Delta_{12} := 0.02477$	$\Delta_{19} := 0.01268$	$\Delta_{27} := 0.01054$	$\Delta_{34} := 0.00351$	$\Delta_{41} := 0.00755$	
$\Delta_6 := 0.00849$	$\Delta_{13} := 0.00320$	$\Delta_{20} := 0.00232$	$\Delta_{28} := 0.01625$	$\Delta_{35} := 0.00874$	$\Delta_{42} := 0.00789$	
$\Delta_7 := 0.01232$	$\Delta_{14} := 0.00324$	$\Delta_{21} := 0.01482$	$\Delta_{29} := 0.01590$	$\Delta_{36} := 0.00923$		
		$\Delta_{22} := 0.01839$				

Из всех приведённых абсолютных погрешностей $\Delta P(B_j/A_i)$ самая наименьшая относится к первому состоянию.

На рис. 4 показано расположение неизвестного состояния, видно, что находится в непосредственной близости к первому состоянию.

Таким образом, рассмотрена возможность диагностирования состояний объекта путём анализа издаваемого им акустического шума в частотном диапазоне (60–600) Гц с использованием кодовых таблиц накапливать классы состояний. Три варианта принятия решения повышают достоверность распознавания.

Список литературы

1. Еськов Е.К. Акустическая сигнализация общественных насекомых. – М.: Наука, 1979. – 209 с.
2. Патент. № 2287138 G01H 17/00, A01K 55/00. Способ определения информативных частотных полос акустического сигнала пчелиных семей при распознавании их состояний // Оpubл. 10.11.2006. Бюл. 31.
3. Патент № 2501211 A01 K 47/00. Способ (варианты) и устройство диагностики состояний пчелиных семей по их акустическому шуму / Рыбошкин А.Ф., Савельев С.В. // Оpubл. 20. 12. 2013. Бюл. № 35.
4. Рыбошкин А.Ф., Захаров И.С. Системный анализ сигналов пчелиных семей с использованием кодовых сообщений. – Курск: КГУ, 2009. – 400 с.
5. Рыбошкин А.Ф., Праведникова С.В. Кодирование акустических сигналов и формирование образов спектров //

Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2009. – № 10. – С. 47–51.

References

1. Eskov E.K. Akusticheskaja signalizacija obshhestvennyh nasekomyh. M.: Nauka, 1979. 209 p.
2. Patent. no. 2287138 G01H 17/00, A01K 55/00. Sposob opredelenija informativnyh chastotnyh polos akusticheskogo signala pchelinyh semej pri raspoznavanii ih sostojanij // Opubl. 10.11.2006. Bjul. 31.
3. Patent no. 2501211 A01 K 47/00. Sposob (varianty) i ustrojstvo diagnostiki sostojanij pchelinyh semej po ih akusticheskomu шуму / Rybochkin A.F., Savelev S.V. // Opubl. 20. 12. 2013. Bjul. no. 35.
4. Rybochkin A.F., Zaharov I.S. Sistemnyj analiz signalov pchelinyh semej s ispolzovaniem kodovyh soobshhenij. Kursk: KGU, 2009. 400 p.
5. Rybochkin A.F., Pravednikova S.V. Kodirovanie akusticheskikh signalov i formirovanie obrazov spektrov // Pribory i Sistemy. Upravlenie, Kontrol, Diagnostika. 2009. no. 10. pp. 47–51.

Рецензенты:

Бурмака А.А., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник НИИЦ, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ, г. Курск;
 Серебровский В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и электроэнергетики, ФГБОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора И.И. Иванова», г. Курск.