

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.865.8-603.55:629

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ  
ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
СПЕКТРОГРАММ ПОЛУЧАЕМЫХ ИМ СИГНАЛОВ**

*Кук Ю.В.,*

*Институт кибернетики имени В.М.Глушкова НАН Украины, г. Киев*

*В статье рассматривается метод дальнейшего повышения уровня интеллекта транспортных роботов в процедуре принятия им решений в различных ситуациях. Предложена методика, по которой робот после предварительного обучения может анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков, и в результате этого анализа распознать ситуацию, в которой он оказался, а затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации.*

*Реализация предлагаемого метода позволит в ряде случаев осуществлять операции принятия роботом адекватных решений со скоростью более высокой, чем это делает человек.*

*Ключевые слова: интеллектуальные транспортные роботы, вибродатчики, спектрограмма вибрации.*

**Введение.** Транспортные роботы предназначены для автоматизированного транспортирования объектов, а также для управления различными транспортными системами. Различают четыре типа транспортных роботов – наземные, летающие, водоплавающие и подземные. В настоящее время наибольшее развитие получили наземные транспортные роботы, которые могут быть колесными, шагающими и гусеничными. Колесные транспортные роботы широко используются в промышленных автоматизированных транспортно-складских системах и гибких автоматизированных производствах в виде мобильных автоматических кранов, автоматических управляемых тележек, оснащаемых различными манипуляционными устройствами. Интеллектуальные транспортные роботы оборудуются автономной управляющей ЭВМ и средствами осязания. В статье приводятся результаты исследований по поддержке принятия решений интеллектуальным транспортным роботом на основе анализа спектрограмм получаемых роботом сигналов от своих датчиков.

**Актуальность исследований.** Разработка транспортных роботов является весьма актуальной задачей, и работы по их созданию интенсивно ведутся во всем мире. Уже в 60-е годы прошлого века в Институте кибернетики им В.М. Глушкова НАН Украины был создан аналог современных транспортных роботов в виде «тележки» Амосова. В настоящее время в области транспортной робототехники достигнуты значительные успехи. Например, машина-робот Argo, созданная в 2001 г. итальянскими учеными из университета г. Пармы, представляет собой автономное

транспортное средство в форме обычной легковой автомашины. Такая автомашина способна ездить без какого-либо управления со стороны водителя, распознавая образы, встречающиеся ей по пути. В качестве тестового пробега машина-робот Argo проехала по дорогам Италии 2000 километров. На всех участках пробега средняя скорость движения составляла около 85 км/ч. Максимальной скорости Argo достигла на автостраде между Флоренцией и Пармой (123 км/ч). Основные компоненты системы управления "Argo" состоят из двух черно-белых видеокамер с разрешением 360 линий, выполняющих функцию глаз робота, персонального компьютера с процессором Pentium 200 и 32 МВ ОЗУ, с PCI-картой от Matrox для "захвата" изображений с камер. В Argo поступает изображение видимой части дороги с частотой 25 кадров в секунду. Главная управляющая программа робота анализирует полученное стереоскопическое изображение, используя процедуру распознавания образов, затем вырабатывает воздействия на органы управления машиной. В алгоритмах Argo используется принцип обратного перспективного отображения – Inverse Perspective Mapping. За время тестового пробега (2000 км) персональный компьютер обработал 1,5 млн. изображений, объем которых составил около 330 GB видеoinформации. Argo обеспечивает формирование управляющих воздействий на рулевую колонку, акселератор и тормоза с периодом 40 мс. Это в 2,5 раза быстрее усредненного времени реакции человека, которое оценивается в 100 мс.

Калифорнийская фирма "Odetics" создала управляемый на расстоянии мобильный автономный шестиногий робот "Odex-1", названный фирмой "функционоидом" и способный, шагая по местности, преодолевать уступы до 1 м, а с помощью манипуляторов поднимать груз, массой до 1 т, и транспортировать его. "Функционоид", разработка которого обошлась в 1 млн. долл., предназначен для военных целей – обезвреживания бомб, несения караульной службы, минирования и разминирования местности, а также различных действий на поле боя. Такой робот может оказаться незаменимым средством для осуществления спасательных работ и ликвидации последствий аварий в зонах и местностях, труднодоступных или опасных для человека по причине радиационного или химического заражения, высоких температур.

Исследования в области транспортной робототехники является весьма актуальной задачей, поскольку способствуют разработке более совершенных транспортных роботов. В статье рассматривается метод дальнейшего повышения уровня интеллекта транспортных роботов в процедуре принятия им решений в различных ситуациях. Реализация предлагаемого метода в программах, управляющих роботом, позволит в ряде случаев осуществлять операции принятия роботом адекватных решений со скоростью более высокой, чем это делает человек.

**Постановка задачи.** Пусть транспортный робот может оказаться в одной из  $L$  ситуаций. В зависимости от вида ситуации робот должен принять то или иное решение, адекватное данной ситуации. Информация о ситуации

считывается  $M$  датчиками работа в дискретные моменты времени  $t = 1, 2, 3, \dots$ . Выход каждого из датчиков представляет замеры амплитуд сигналов, характеризующих данную ситуацию и являющихся значениями временного ряда. Современные роботы способны интеллектуально перерабатывать значительные объемы информации. Для распознавания ситуаций, в первую очередь, ими используется визуальная информация, которая воспринимается и обрабатывается роботами с помощью систем технического зрения. Задача состоит в том, чтобы разработать методику, по которой робот после предварительного обучения мог бы по показаниям датчиков распознать ситуацию, в которой он оказался, и затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации. Под предварительным обучением понимается процедура, при которой роботу предъявляются различные ситуации с указанием правильных решений для каждой из них. В результате обучения робот вырабатывает решающее правило для принятия решения в той или иной ситуации.

**Результаты исследований.** Для решения поставленной задачи применим метод, который был использован нами в [1] для распознавания состояний динамических объектов с нестационарными характеристиками. Обеспечим робота способностью анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков. С помощью этого анализа обучим робота распознавать типовые ситуации, в которых он может оказаться, и принимать по ним решения, адекватные той или иной ситуации.

Экспериментальные данные временного ряда для  $i$ -го датчика и  $l$ -й типовой ситуации обозначим  $X^{(i,l)}(t)$ ,  $i = 1, \dots, M$ ,  $l = 1, \dots, L$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots$ . Для процедуры обучения робота каждый временной ряд  $X^{(i,l)}(t)$ , содержащий  $S$  замеров, разделим на  $Z$  равных отрезков, содержащих  $n = S/Z$  замеров. Эти информационные отрезки будем рассматривать как некоторые первичные объекты, из описаний которых будем формировать обучающую и экзаменационную выборки для робота. Выделим исходные признаки, с помощью которых будем описывать полученные объекты. Обозначим  $s_k^{(i,l)}$   $k$ -й объект, сформированный из  $k$ -го отрезка временного ряда  $X^{(i,l)}(t)$ . Рассмотрим общий случай, когда наблюдаемые отрезки временных рядов представляют собой нестационарные процессы. Для нахождения признаков первичных объектов поступим следующим образом. Разложим каждый отрезок временного ряда в ряд Фурье:  $X^{(i,l)}(t) = a_0 + \sum_j [a_j \cos(\lambda_j t) + b_j \sin(\lambda_j t)]$ , для  $j = 1, \dots, n$ ,  $l = 1, \dots, L$ . Числа  $\lambda_j$  называются частотами, а величины  $p_j = (a_j^2 + b_j^2) * (n/2)$  – периодограммами. В качестве признаков объекта  $s_k^{(i,l)}$  возьмем  $N$  характерных особенностей функции, которая описывает зависимость  $p_j$  от  $\lambda_j$ . Например, число максимумов этой функции, частоты  $\lambda_j$ , которым

соответствуют максимумы спектрограммы, а также соответствующие им значения периодограмм. Обозначим выбранные признаки  $x_{1k}^{(i,l)}, x_{2k}^{(i,l)}, \dots, x_{Nk}^{(i,l)}$ . В зависимости от ситуации статистические характеристики исходных признаков первичных объектов будут меняться. Каждой типовой ситуации соответствуют свои статистические характеристики исходных признаков первичных объектов. Для обучения распознавания роботом типовых ситуаций и принятия решений по ним разделим  $Z$  объектов каждого временного ряда  $X^{(i,l)}(t)$ ,  $i=1, \dots, M$ ,  $l=1, \dots, L$ , на  $K$  и  $W$  объектов, где  $K$  объектов принадлежат обучающей выборки, а  $W$  объектов – экзаменационной выборки.  $K+W=Z$ . В результате получим  $J=M \times L$  групп объектов обучающей выборки:  $G_1(l) = \{s_1^{(1,l)}, s_2^{(1,l)}, \dots, s_K^{(1,l)}\}$ , ...,  $G_M(l) = \{s_1^{(M,l)}, s_2^{(M,l)}, \dots, s_K^{(M,l)}\}$ ,  $l=1, \dots, L$ . Процедуру обучения робота можно описать следующим образом. Робот, осуществляя спектральный анализ информации, получаемой им с датчиков, определяет исходные признаки данного объекта. Этому исследуемому объекту соответствует некоторая известная типовая ситуация из множества возможных типовых ситуаций. Эта типовая ситуация находится роботом путем вычисления евклидовых расстояний между признаками исследуемого объекта и статистическими характеристиками каждой из возможных типовых ситуаций. В качестве искомой ситуации выбирается та типовая ситуация, для которой это расстояние оказывается наименьшим. Для каждой типовой ситуации роботу указывается, какое он должен принять решение, наиболее адекватное данной ситуации. Это решение, ассоциированное с данной типовой ситуацией, и фиксируется в памяти робота. Объекты экзаменационной выборки служат для проверки правильности обучения робота.

В качестве примера рассмотрим задачу принятия решений роботом, выполняющего роль автопилота вертолета, в различных ситуациях. При решении задачи использовались данные, которые были получены в результате виброметрирования роботом главного редуктора вертолета Ка 32N04 при различных режимах и нагрузках вертолета. Данные снимались с 6-ти датчиков вибрации для 4-х разных режимов полета вертолета. Одним из этих режимов являлся режим, когда вертолет весит в воздухе. Кроме того вертолет загружался двумя видами грузов: 8 и 11 тонн. В данном примере всего имеется 16 различных ситуаций, которые робот должен уметь распознавать и адекватно принимать решения по управлению вертолетом в распознанной ситуации.

Для обучения робота правильному распознаванию ситуаций с каждого из 6 датчиков было получено 48000 замеров. Например, для вертолета с нагрузкой 8 тонн и режима, когда вертолет завис, данные с шести датчиков вибрации представлены в таблице 1, а для вертолета с нагрузкой 11 тонн и режима, когда вертолет весит, данные представлены в таблице 2.

Таблиця 1. Данніе с датчиков вибрации (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

№	Vibr1	Vibr2	Vibr3	Vibr4	Vibr5	Vibr6
1	-4679	-6158	725	3956	-2429	3572
2	-2356	-6660	2779	7370	-6158	7517
3	-1981	-6094	1592	7229	-5350	5361
4	-339	-7051	-278	3463	-4496	2028
...	...	...	...	...	...	...
48001	2915	27	-582	-7242	3032	-551

Таблиця 2. Данніе с датчиков вибрации (нагрузка 11 тонн, вертолет висит)

№	Vibr1	Vibr2	Vibr3	Vibr4	Vibr5	Vibr6
1	-5330	7706	-4880	-625	-2496	-2078
2	-6607	7258	242	-764	532	-4191
3	-9131	5836	2798	1678	3150	-3497
4	-9314	3741	3466	6722	-693	-483
...	...	...	...	...	...	...
48000	-600	-8890	75	-10837	6163	-1420

В качестве примеров приведем графики временных рядов, описывающих первые 100 замеров с 1-го и 2-го датчиков для нагрузки 8 тонн и режима, когда вертолет висит. Они представлены соответственно на рисунках 1 и 2, а график временного ряда с 6-го вибродатчика для нагрузки на вертолете 8 тонн и режима, когда вертолет висит, представлен на рисунке 3.

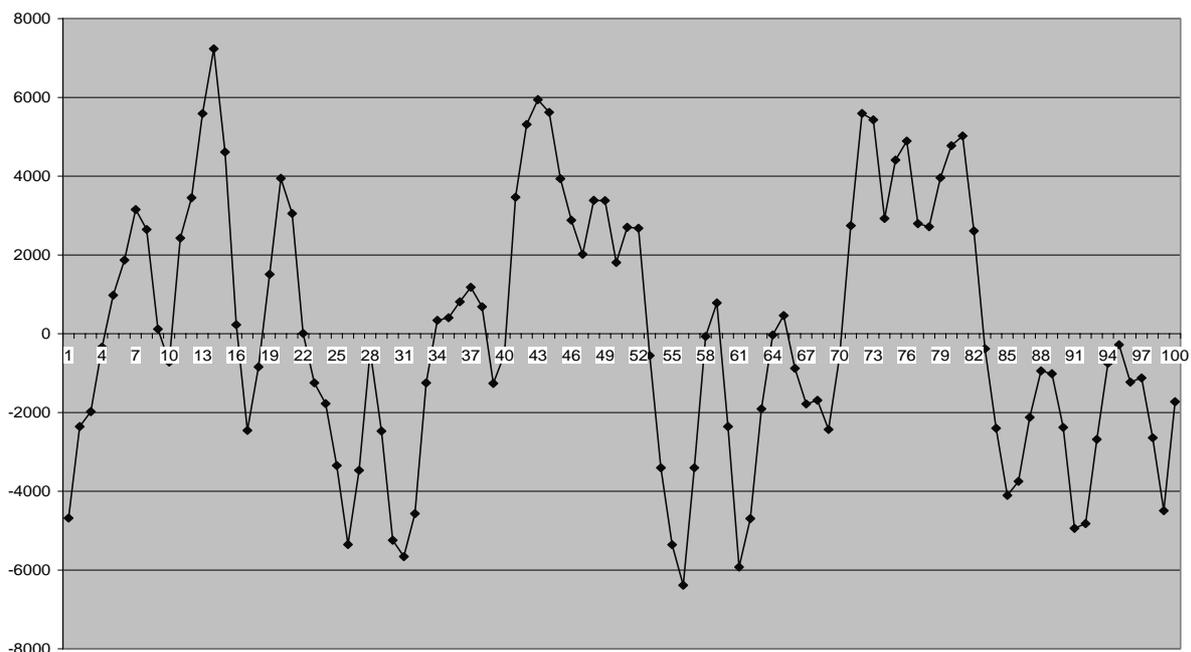


Рисунок 1. Временной ряд с 1-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

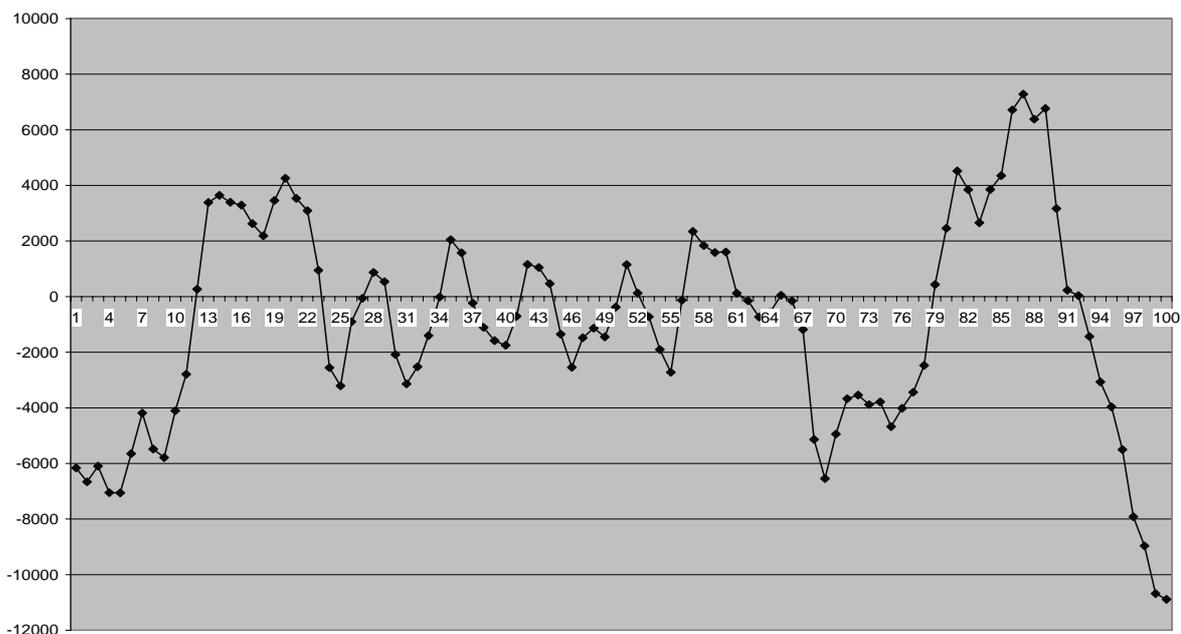


Рисунок 2. Временной ряд со 2-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

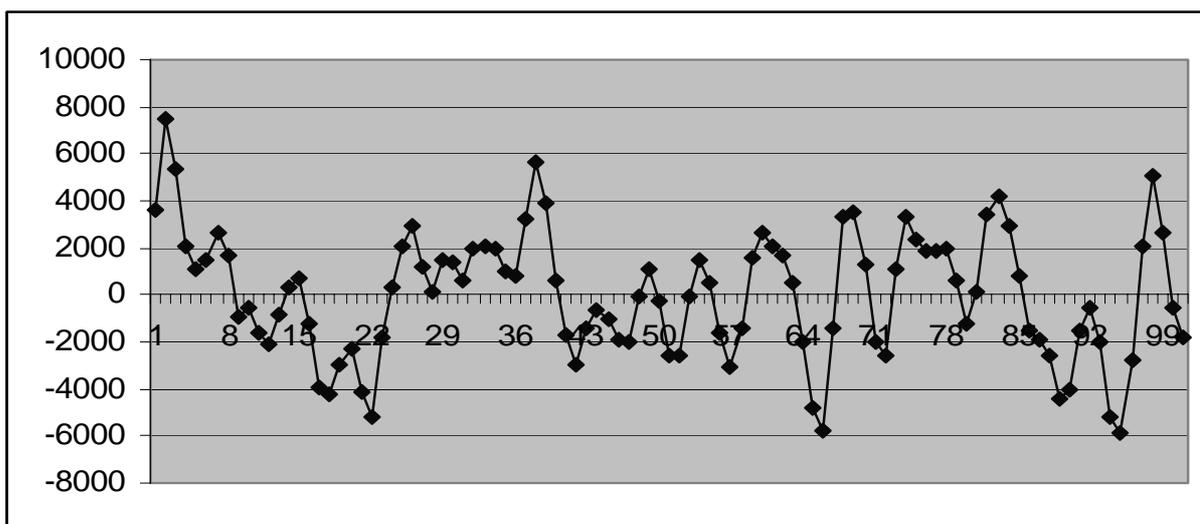


Рисунок 3. Временной ряд с 6-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн)

Приведем лишь один из результатов, полученный в результате обучения работа распознаванию различных ситуаций. Оказалось, что для достоверного распознавания величины нагрузки на вертолет с помощью спектрограмм достаточно показаний только одного датчика, а именно шестого датчика. На рисунках 4 и 5 представлены типичные спектрограммы временных рядов с 6-го вибродатчика при различных нагрузках.

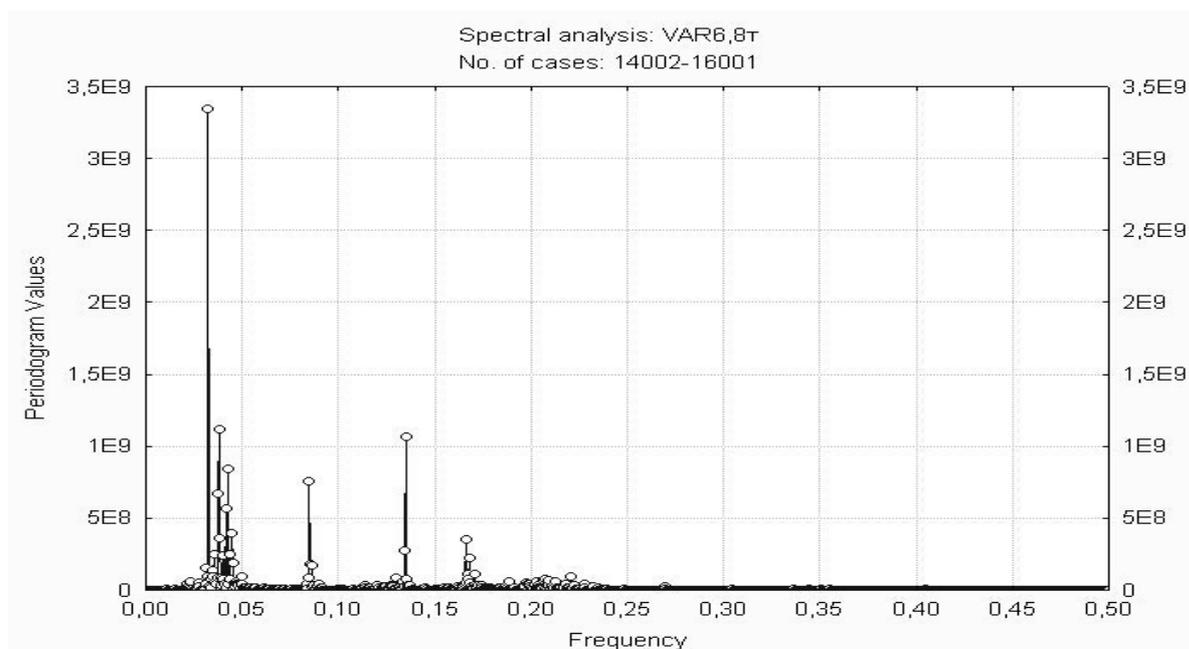


Рисунок 4. Типичная спектрограмма временного ряда с 6-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн)

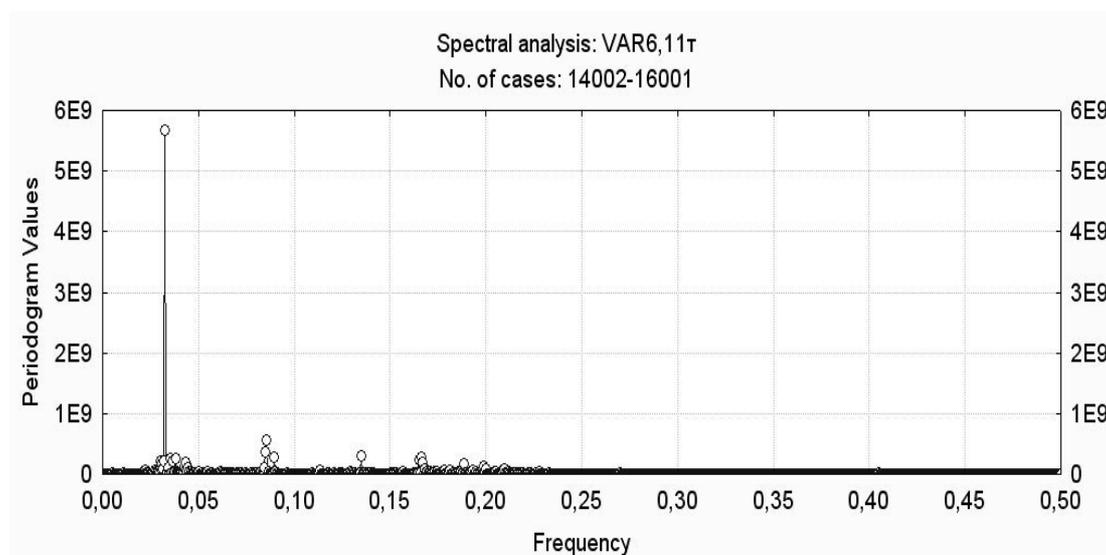


Рисунок 5. Типичная спектрограмма временного ряда с 6-го вибродатчика (нагрузка 11 тонн)

Одно из отличий спектрограммы на рисунке 4 (нагрузка 8 тонн) от спектрограммы на рисунке 5 (нагрузка 11 тонн) в том, что в интервале частот 0,1-0,15 имеется максимум, который существенно выше соответствующего максимума спектрограммы на рисунке 5 в том же интервале частот. На основании уже только этого признака робот может достоверно определить величину нагрузки на вертолет.

Распознавания других ситуаций роботом автопилотом вертолета проводится аналогичным образом, но с учетом особенностей спектрограмм уже всех шести его датчиков при различных ситуациях, которые выявляются на этапе обучения робота правильному распознаванию ситуаций и правильному принятию решений в этих ситуациях.

**Выводы.** Таким образом, в работе предложена методика, по которой робот после предварительного обучения может анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков, и в результате этого анализа распознать ситуацию, в которой он оказался, а затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кук Ю.В., Лаврикова Е.И. Интеллектуальные системы распознавания состояний динамических объектов с нестационарными характеристиками // Искусственный интеллект. – Донецк: НАНУ, Институт проблем искусственного интеллекта. – 2006. – № 4. – С. 763-773.

**Кук Ю.В.** ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ ТРАНСПОРТНИМ РОБОТОМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СПЕКТРОГРАМ ОТРИМУВАНИХ НИМ СИГНАЛІВ

*У статті розглядається метод подальшого підвищення рівня інтелекту транспортних роботів у процедурі прийняття ним рішень у різних ситуаціях. Запропонована методика, за якою робот після попереднього навчання може аналізувати за допомогою спектрального аналізу експериментальні дані, що отримуються ним зі своїх датчиків, і в результаті цього аналізу розпізнати ситуацію, в якій він опинився, а потім ухвалити правильне рішення, відповідне даній ситуації.*

*Реалізація запропонованого методу дозволить у ряді випадків здійснювати операції ухвалення роботом адекватних рішень зі швидкістю вищою, ніж це робить людина.*

*Ключові слова: інтелектуальні транспортні роботи, вібродатчики, спектрограма вібрації.*

**Kuk Yu.V.** A SUPPORT OF DECISION-MAKING BY INTELLIGENT TRANSPORT ROBOT ON THE BASIS OF ANALYSIS OF SPECTROGRAMS OF SIGNALS RECEIVED BY IT

*A method of further increase of intellect level of transport robots in the procedure of their decision-making in different situations is considered in the paper. A technique is proposed according to which a robot after some preliminary training may analyze by means of spectral analysis the experimental data, received by it from its sensors, and as a result of this analysis to recognize the situation in which it found itself and then to take a proper decision corresponding to this particular situation.*

*A realization of the proposed method will allow, in a number of cases, carry out operations of adequate decision-making by robot at the rate higher than it is done by man.*

*Key words: intellectual transport operations, vibration transducers, spectrogram of vibrations.*