

Результаты работы имеют самостоятельное значение и могут быть использованы при расчете сверл на прочность и устойчивость.

Список литературы: 1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. Под ред. А.М. Дальского. - М.: Машиностроение -1, 2001. - 944 с. 2. Сопrotивление материалов/Под ред. Писаренко Г.С. – 5-е изд. – К: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 775с. 3. Проектирование металлорежущих инструментов./ Под ред. И.И. Семенченко. – М: Машиностроение, 1963. – 895с. 4. Пономарев С.Д. Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении./ М: Машгиз, 1952. – 864с. 5. Коваленко В.И., Федосов Н.Н. Определение площади поперечного сечения сверла. Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний сб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, РВА ДонНТУ, 2007. - Вип. 33. С. 117-123.

Сдано в редакцию 15.01.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДЪЕМНОГО АГРЕГАТА АПРС-40

Кошекoв К.Т.

(СКГУ, г. Петропавловск, Казахстан)

Its represented methodology usage of defects discerning of reducing gears on the analysis of vibro-signals, based on the up to date direction in the theory and technics of measurements – identification measurements (IM). The base of IM is composed with operations of forms measurements and varying of vibro-signals and their characteristics. Its described means and methods of IM, directed to solving measurements and classification tasks of automatic and interactive defects discerning of reducing gears. Its considered examples of represented vibro-signals with quantitative characteristics of qualificative reducing gears condition.

1. Введение.

Постановка проблемы.

В Республике Казахстан основным производителем нефтегазодобывающего и нефтегазоперерабатывающего оборудования является Акционерное общество «Петропавловский завод тяжелого машиностроения» (АО ПЗТМ), выпускающий широкую номенклатуру продукции. Одним из наиболее распространенных изделий АО ПЗТМ является подъемный агрегат для ремонта нефтяных и газовых скважин АПРС-40 на монтажно-транспортной базе автомобиля УРАЛ-4320. Внешний вид агрегата представлен на рис. 1.

При проведении испытаний АПРС-40 в заводских условиях, т.е. при работе всех редукторов в нагрузочном режиме, где возможны случаи их перегрузки, возникают дефекты эксплуатационного характера, более 90% которых являются значительными, т.е. редуктор находится в рабочем состоянии, однако с течением времени он будет неработоспособным. В конструкцию АПРС-40 входит 8 редукторов, а при проведении испытаний необходимо вести одновременный мониторинг состояния всех редукторов с определением дефектов, своевременное устранение которых продлит срок службы агрегата и повысит его надежность эксплуатации. Следовательно, актуальной задачей исследования стало решение проблемы по созданию автоматизированной системы диагностики с универсальной и эффективной методикой и алгоритмом распознавания дефектов всех редукторов, входящих в АПРС-40.

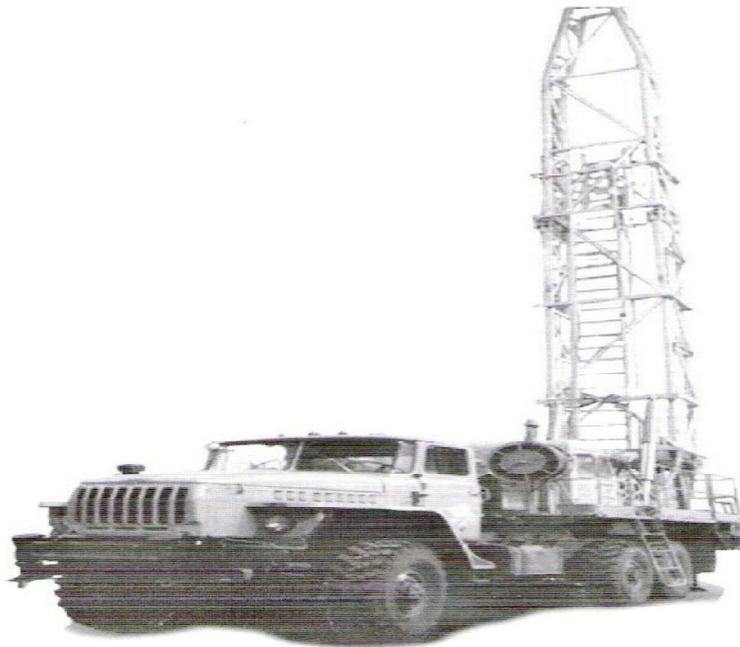


Рис. 1. Агрегат подъемный для ремонта скважин АПРС-40.

Анализ последних достижений и публикаций.

Практически все составные части редуктора, а именно валы, шестерни, колеса, зубчатые зацепления подвержены дефектам, своевременное неустранение которых может привести к разрушению всего редуктора. В зависимости от возможного влияния на служебные свойства редуктора дефекты делятся на следующие группы:

- критический - дефект, при наличии которого функциональное использование редуктора невозможно ввиду несоответствия требованиям безопасности или надежности;
- значительный – дефект, который существенно влияет на использование по назначению и (или) на долговечность редуктора, но не является критическим;
- малозначительный – дефект, который не оказывает такого влияния.

Малозначительные дефекты могут перейти в значительные, последние – в критические.

Работу редуктора сопровождает целый ряд характерных вибраций и шумов, одной из причин возникновения которых являются существующие дефекты. В настоящее время вопросам диагностирования и контроля состояния редукторов на основе анализа вибрационных сигналов уделяется большое внимание. В частности, существуют приборы для измерения вибраций и вибрационных сигналов, рассмотренные в работе [1], например, АТТ-9002, или портативные вибродиагностические системы, например, ДСА-2001. Разработаны компьютерные диагностические системы [2], в которых предложены методики контроля состояния редукторов, которые на основе анализа вибрационных сигналов достаточно успешно диагностировать целый ряд различных дефектов с постановкой причины и прогноза. Существуют методы анализа вибросигналов, основанные на положениях прикладной статистики и теории распознавания образов [3,4].

Предлагаемые методики и приборы эффективно проводят анализ сигналов и определяют дефекты только ограниченному количеству характеристик, например по

временным или частотным характеристикам. Однако вибродиагностические исследования должны быть привязаны к объекту исследования и требуется адаптация разработанного оборудования. Некоторые методы из-за математической и алгоритмической сложности не находят широкого применения в системах реального времени. При обработке используются выборочные характеристики, в основном частотная и временная, хотя применение для анализа дополнительных характеристик существенно увеличит точность распознавания дефектов.

Постановка задачи.

В связи с этим, становится *актуальной разработкой новой методологии распознавания вибросигналов*, которая бы в себе интегрировала наработанные в смежных областях методики и средства, и эффективно определяла дефекты редукторов подъемного агрегата АПРС-40.

2. Основное содержание и результаты работы.

Автором предложена методика анализа вибросигналов, основанная на идеях и моделях *идентификационных измерений (ИИ) сигналов*, изложенная в монографиях [5,6]. Суть предложения иллюстрирована рис. 2 и сводится к тому, что первоначально (в отсутствие сигнала) упорядоченная, например, по убыванию, система объектов-эталонов, под воздействием входного сигнала - разупорядочивается (эталонные меняют свои позиции).

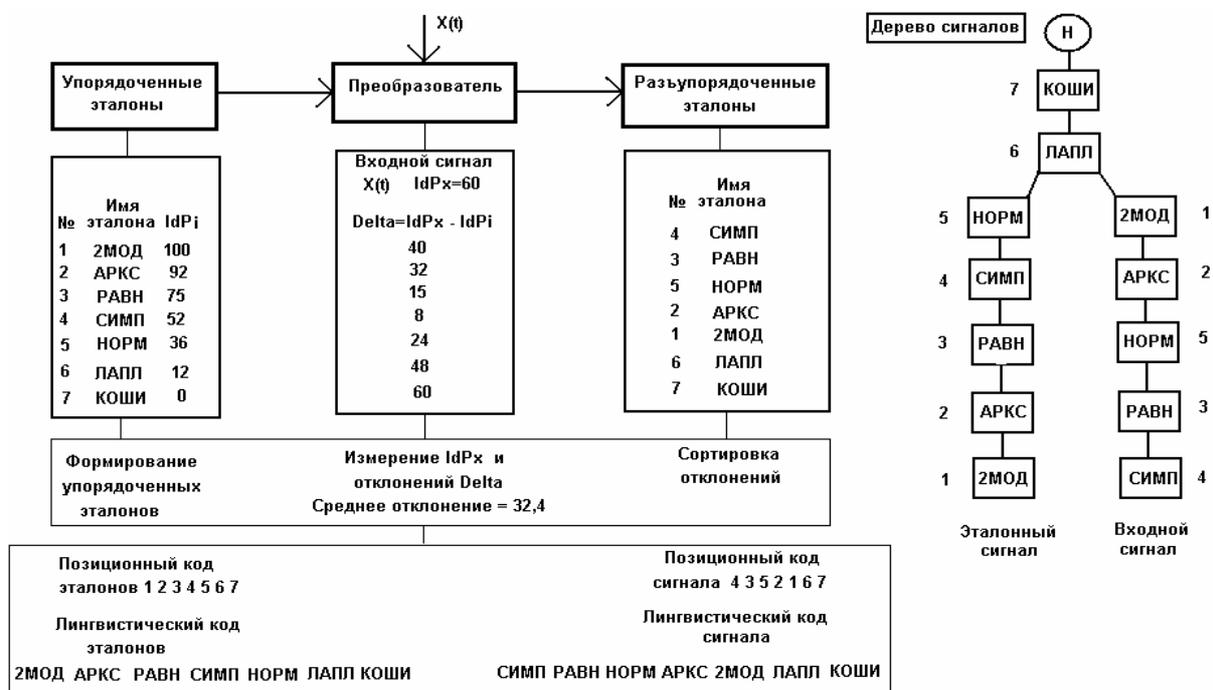


Рис.2. Структурная схема классификатора сигналов

В качестве числового показателя IdP используется значение, определяемое S-тестером с следующим методом шкалирования распределений мгновенных значений:

- исследуемая выборка ранжируется по возрастанию;
- из ранжированной функции путем равномерной дискретизации выбирается 9 значений, причем пятое по счету значение должно совпадать с медианой исследуемой выборки;
- вычисляется модельный параметр, определяемый как:

$$S = \frac{C(8) - C(2)}{C(9) - C(1)} 100, \quad (1)$$

где $C(i)$ – i -ое значение ранжированной функции исследуемой выборки.

Новый порядок следования объектов-эталонов отображает классификационную структуру анализируемого сигнала. Номера позиций образуют позиционный код (ПК), а, соответствующие им, имена объектов-эталонов – лингвистический код (ЛК) входного сигнала. Если два и более сигнала имеют одинаковые позиционные или лингвистические коды, то они находятся в одном классе, и согласно теории распознавания образов - они в чем-то похожи.

На рис. 3 представлена структурная схема программного кода классификатора, выполненная в среде LabVIEW-7.1 фирмы National Instruments. В данной схеме использованы как стандартные библиотечные элементы (Subtract, Absolute Value, Build Array, Sort 1D Array, Divide, Add Array Elements, Delete from Array), так и модули (S-tester, Name_Former), разработанные автором специально.

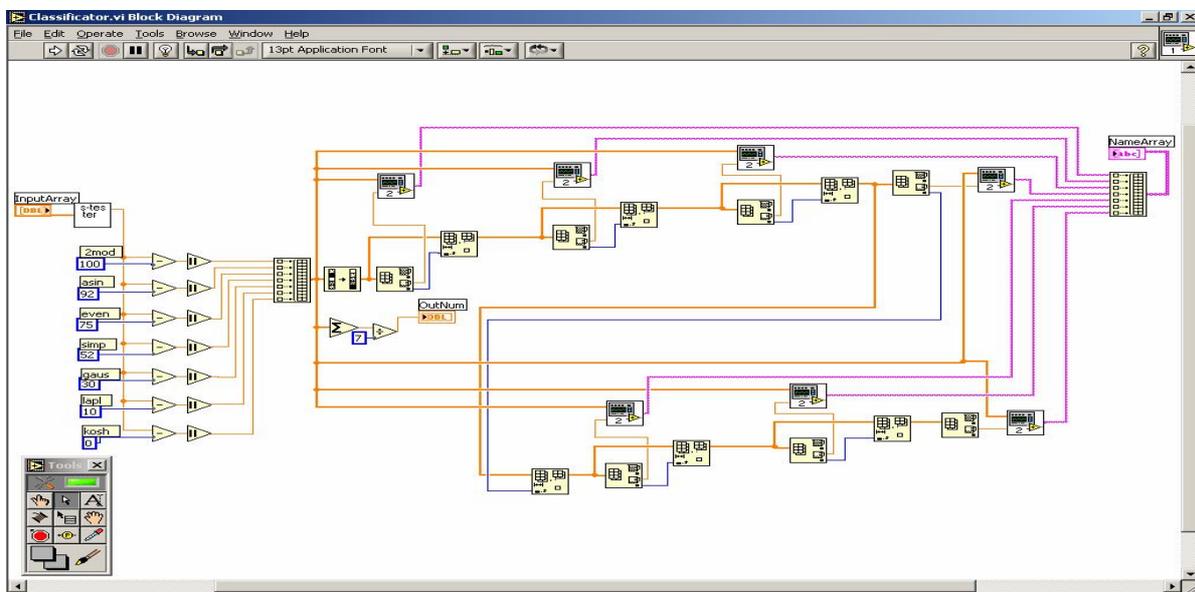


Рис.3. Структурная схема программного кода классификатора сигналов

Исследуемая выборка вибросигнала измеряется идентификационным тестером S-типа [7], на выходе которого формируется число ($IdP_x=60$ для примера на рис.2). Это число сравнивается с упорядоченным набором подобных идентификационных чисел, принадлежащих эталонам, в качестве которых используются имена случайных сигналов с двумодальным (2МОД), арксинусным (АРКС), равномерным (РАВН), треугольным (СИМП), нормальным (НОРМ), двусторонним экспоненциальным (ЛАПЛ) и Коши (КОШИ) распределениями. Для указанных эталонов значения идентификационных чисел (IdP_i) известны заранее и хранятся внутри программы как некие константы. Диапазон идентификационных чисел эталонов (от 0 до 100) охватывает полный диапазон существования любых других сигналов, как случайных, так и периодических.

Сравнение идентификационных чисел входного вибросигнала и эталонов осуществляется путем вычисления абсолютной разности (Delta) с формированием соответствующего массива. Обработка массива отклонений заключается в его сортировке совместно с именами эталонных распределений так, что на выходе системы

формируется позиционный и лингвистический коды (ПК, ЛК). На рис. 2 показано как из линейно упорядоченного ПК = 1234567 эталонов получился разупорядоченный ПК = 4352167 входного сигнала. Потенциально общее число возможных ПК сигналов определяется числом перестановок и для 7 эталонов составляет величину, равную $7! = 5040$. Поэтому данный классификатор можно без особой доработки включать в качестве интеллектуального модуля в состав многих практических систем обработки и анализа данных.

Классификационное дерево (правая часть рис.2) вибросигналов строится из предположения о том, что разряды ПК являются потенциальными узлами ветвления. При этом исходная ветвь эталонов является крайней левой. Ветви всех остальных сигналов располагаются правее, на расстоянии пропорциональном среднему отклонению. Таким образом, происходит упорядочивание ветвей дерева по горизонтальному направлению (слева - направо). Оценивать «похожесть» сигналов можно некоторым комплексным показателем, учитывающим как значение отклонения, так и степень общности, например, в логической форме:

$$P_{\text{шо}} = \max \left[C_{ij}; \left(1 - \frac{\Delta_{ij}}{\Delta_{\text{max}}} \right) \right], \quad (2)$$

где Δ_{ij} – значение отклонения между сигналами, Δ_{max} – максимальное отклонение между крайними сигналами данного дерева, C_{ij} – степень общности (вложенности), оцениваемая по формуле:

$$\text{Степень общности} = \frac{\text{кол} - \text{вообщихразрядовПК}}{\text{общеекол} - \text{воразрядовПК}}, \quad (3)$$

Принцип действия *S-тестера*, входящего в состав библиотеки классификатора, основан на измерении крутизны среднего участка ранжированной функции сигнала. Его программная реализация представлена на рис. 4. Модуль *Name_former* (рис.5) предназначен для обработки списка эталонов по значениям отклонения Delta, на выходе этого модуля формируется имя эталона.

Рассмотрим технологию применения классификатора для решения следующей задачи диагностики средней мощности червячного редуктора, применяемого в коробке перемены передачи АР-20000000 агрегата АПС-40. Имеется группа из 4-х вибросигналов с именами: 4-4-1n.wav, 4-4-2n.wav, 4_4idle.wav, 4_4tfc.wav. Данные сигналы характерны для дефектов: люфт, зазор между валом и шестерней, расцентровка валов, комбинированный эксцентриситет шестерни.

Визуальные образы характеристик вибросигнала 4-4-1n.wav, характерного для дефекта «люфт» представлены на рис. 6., используя которые затруднительно определить дефект, однако с применением предлагаемой методологии впоследствии можно сделать их информативными.

Необходимо выяснить взаимосвязь между этими сигналами и определить их ПК. Решение сводится, во-первых, к выполнению операции измерения идентификационных параметров *Id* основных характеристик сигналов, к которым относятся временная (Time), вероятностная (Hist), спектральная (Spec) и корреляционная (Corr). Соответствующие результаты измерения сведены в табл. 1, где представлены также

результаты измерения идентификационных параметров эталонов (2mod, asin, even, simp, gaus, lapl, kosh).

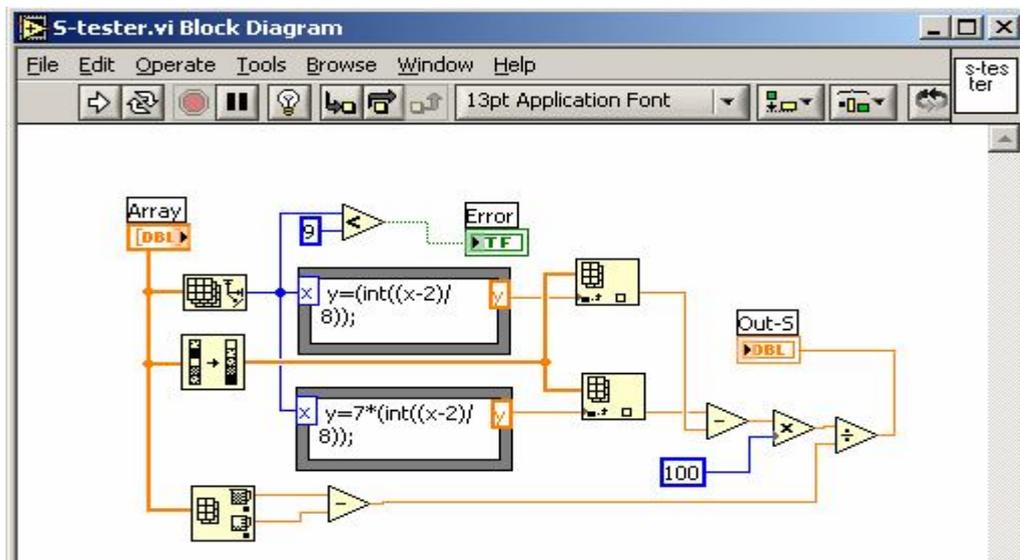


Рис.4. Структура программного кода S-тестера

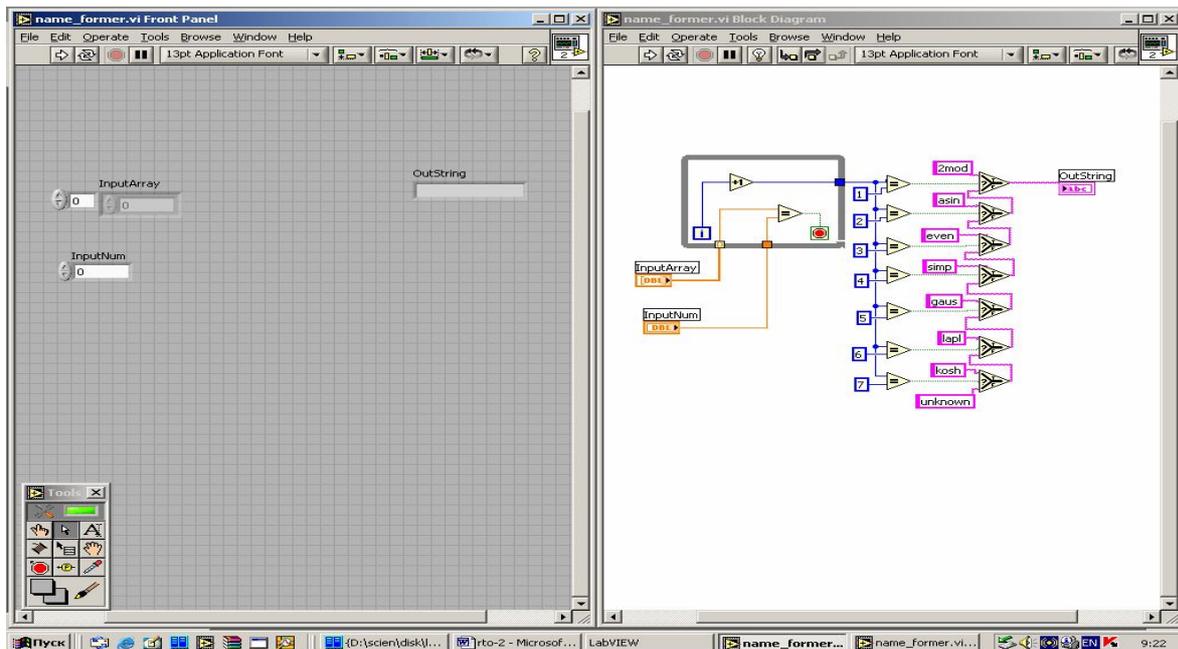


Рис. 5. Панель управления и программный код модуля *Name_former*.

Вторым шагом является вычисление отклонений каждого сигнала с эталонами по всем характеристикам и определение позиционных кодов (ПК). Соответствующие результаты представлены в табл. 2. Так, например, отклонение вибросигнала 4-4-1n.wav от группы эталонов по временной характеристике составляет 32,55, а по всем характеристикам - 28,082.

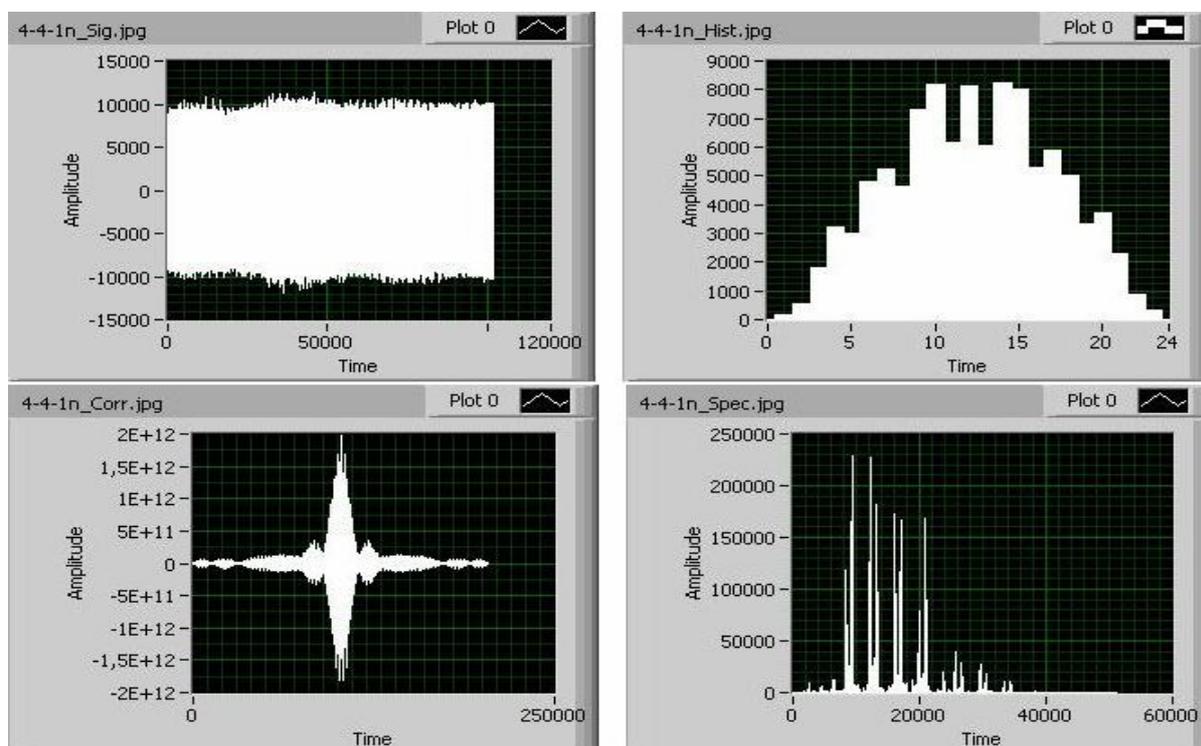


Рис. 6. Графики временной, вероятностной, корреляционной и спектральной характеристик (слева направо, сверху вниз) сигнала 4-4-1n.wav

Таблица 1. Результаты измерения идентификационного параметра *Id*.

№	Имя файла	Time	Hist	Corr	Spec
1	4-4-1n.wav	47,252747	93,2344	0,705318	0,0149
2	4-4-2n.wav	43,434343	94,6411	1,799429	0,0652
3	4_idle.wav	38,773553	92,2885	4,540104	0,0194
4	4_4tfc.wav	36,363636	75,5248	0,362961	2,0658
5	2mod.txt	100	0	1,474858	23,29
6	asin.txt	92,2945	26,2704	1,465952	21,999
7	even.txt	75,420626	52,5	1,466273	17,493
8	simp.txt	49,942408	78,8036	1,491746	25,888
9	gaus.txt	30,710666	84,1256	1,44303	16,594
10	lapl.txt	11,775648	24,8674	1,458223	22,51
11	kosh.txt	0,055596	0,03011	0,09208	39,541

Третий шаг состоит в анализе позиционных кодов и в построении по ним классификационных деревьев. Согласно данным табл.2, все сигналы имеют один и тот же ПК (5326147) по спектральной характеристике (Spec). Это означает, что анализируемые сигналы имеют похожие спектры. Дерево будет содержать одну ветвь, на которой «развешано» 4 сигнала в порядке возрастания отклонений (табл. 3).

Второй по общности является вероятностная характеристика (Hist), которая имеет 2 разновидности позиционного кода, причем один из кодов объединяет 3 сигнала из четырех. Позиционный код корреляционной характеристики (Corr) также имеет две разновидности, в каждой из которых содержатся по два сигнала. Позиционный код временной характеристики (Time) содержит 4 разновидности позиционного кода и потому в наибольшей степени отображает частные свойства сигналов.

Дерево вибросигналов для временной характеристики изображено на рис. 7. Построение дерева начинается с младшего правого разряда ПК, поскольку значение этого разряда (1=2МОД) является общим для всех сигналов. После первого разряда образуется ветвление по 2 направлениям: к значению 7 (один сигнал с именем 4-4-1n.wav) и к значению 2 (три сигнала с именами 4-4-2n.wav, 4_4idle.wav, 4_4tfc.wav). Следующее ветвление образуется на третьем разряде по направлениям 3 (4_4tfc.wav) и 7 (4-4-2n.wav, 4_4idle.wav). Последнее ветвление на 6 разряде разделяет два сигнала 4-4-2n.wav и 4_4idle.wav.

В отличие от известных методов построения классификационных деревьев предлагаемый виртуальный инструмент реализует такой метод, при котором структура группы сигналов не только визуализируется, но и упорядочивается как по вертикали (по общности), так и по горизонтали (по отклонению).

Таблица 2. Результаты вычисления отклонений каждого сигнала с эталонами по всем характеристикам и определение позиционных кодов

№	Имя файла	Имя эталона	Time	ПК	Hist	ПК	Corr	ПК	Spec	ПК
1	4-4-1n.wav	2mod.txt	52,75	4	93,23	5	0,7695	7	23,27	5
2	4-4-1n.wav	asin.txt	45,04	5	66,96	4	0,7606	5	21,98	3
3	4-4-1n.wav	even.txt	28,17	3	40,73	3	0,761	6	17,48	2
4	4-4-1n.wav	simp.txt	2,69	6	14,43	2	0,7864	2	25,87	6
5	4-4-1n.wav	gaus.txt	16,54	2	9,109	6	0,7377	3	16,58	1
6	4-4-1n.wav	lapl.txt	35,48	7	68,37	7	0,7529	1	22,49	4
7	4-4-1n.wav	kosh.txt	47,2	1	93,2	1	0,6132	4	39,53	7
	Delta	28,082	32,55		55,15		0,7402		23,89	
8	4-4-2n.wav	2mod.txt	56,57	4	94,64	5	0,3246	4	23,22	5
9	4-4-2n.wav	asin.txt	48,86	5	68,37	4	0,3335	1	21,93	3
10	4-4-2n.wav	even.txt	31,99	6	42,14	3	0,3332	3	17,43	2
11	4-4-2n.wav	simp.txt	6,508	3	15,84	2	0,3077	2	25,82	6
12	4-4-2n.wav	gaus.txt	12,72	7	10,52	6	0,3564	6	16,53	1
13	4-4-2n.wav	lapl.txt	31,66	2	69,77	7	0,3412	5	22,44	4
14	4-4-2n.wav	kosh.txt	43,38	1	94,61	1	1,7073	7	39,48	7
	Delta	28,5047	33,1		56,56		0,5291		23,84	
15	4_4idle.wav	2mod.txt	61,23	5	92,29	5	3,0652	4	23,27	5
16	4_4idle.wav	asin.txt	53,52	4	66,02	4	3,0742	1	21,98	3
17	4_4idle.wav	even.txt	36,65	6	39,79	3	3,0738	3	17,47	2
18	4_4idle.wav	simp.txt	11,17	3	13,48	2	3,0484	2	25,87	6
19	4_4idle.wav	gaus.txt	8,063	7	8,163	6	3,0971	6	16,57	1
20	4_4idle.wav	lapl.txt	27	2	67,42	7	3,0819	5	22,49	4
21	4_4idle.wav	kosh.txt	38,72	1	92,26	1	4,448	7	39,52	7
	Delta	28,7797	33,76		54,2		3,2698		23,88	
22	4_4tfc.wav	2mod.txt	63,64	5	75,52	4	1,1119	7	21,22	5
23	4_4tfc.wav	asin.txt	55,93	4	49,25	5	1,103	5	19,93	3
24	4_4tfc.wav	even.txt	39,06	6	23,02	3	1,1033	6	15,43	2
25	4_4tfc.wav	simp.txt	13,58	7	3,279	2	1,1288	2	23,82	6
26	4_4tfc.wav	gaus.txt	5,653	3	8,601	6	1,0801	3	14,53	1
27	4_4tfc.wav	lapl.txt	24,59	2	50,66	7	1,0953	1	20,44	4
28	4_4tfc.wav	kosh.txt	36,31	1	75,49	1	0,2709	4	37,47	7
	Delta	24,4405	34,11		40,83		0,9847		21,84	

Таблица 3. Результаты анализа позиционных кодов

Вибро-сигнал	Spectrum		Histogram		Correlation		Time	
	ПК	Откло-нение	ПК	Откло-нение	ПК	Откло-нение	ПК	Откло-нение
4_4tfc.wav	5326147	21,84	4532671	40,83	4132657	0,5291	4536271	32,55
4-4-2n.wav	5326147	23,84	5432671	54,2	4132657	3,2698	4563721	33,1
4_4idle.wav	5326147	23,88	5432671	55,15	7562314	0,7402	5463721	33,76
4-4-1n.wav	5326147	23,89	5432671	56,56	7562314	0,9847	5467321	34,11

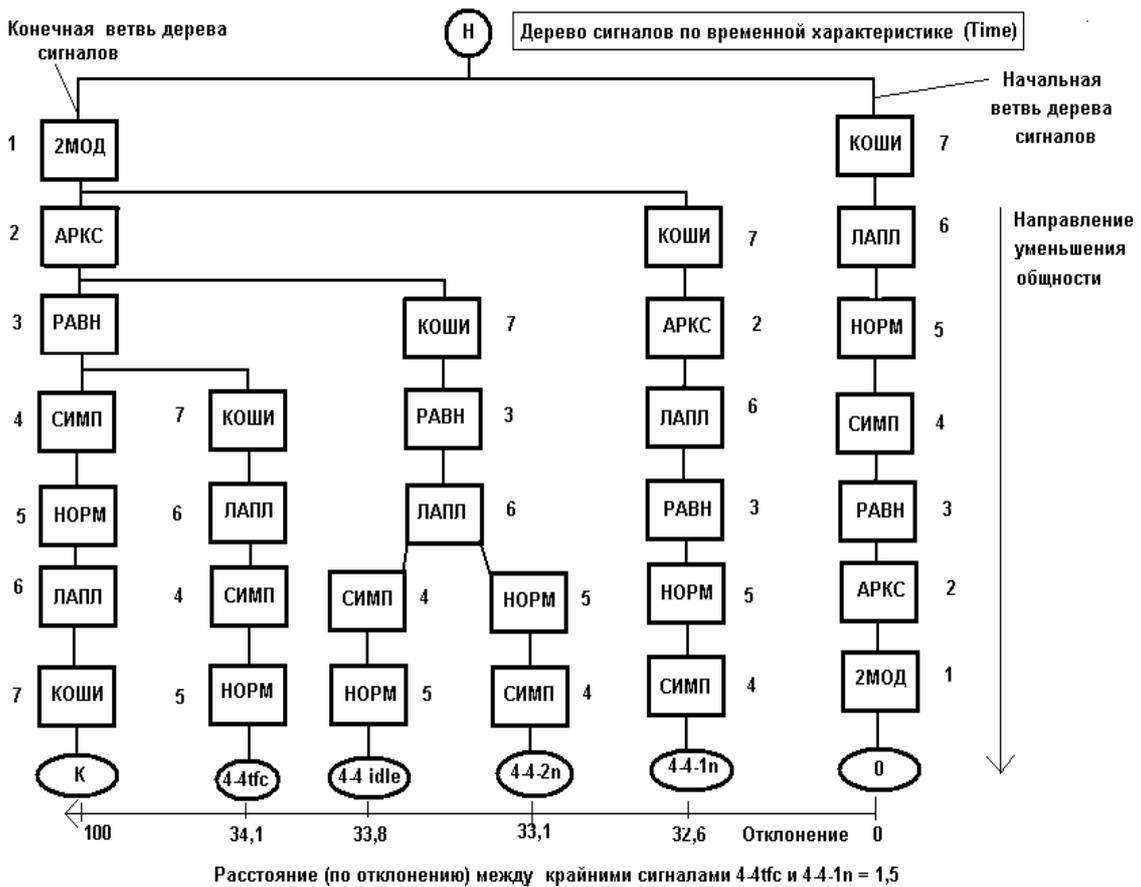


Рис. 7. Дерево сигналов для временной характеристики

Дерево вибросигналов для временной характеристики изображено на рис. 7. Построение дерева начинается с младшего правого разряда ПК, поскольку значение этого разряда (1=2МОД) является общим для всех сигналов. После первого разряда образуется ветвление по 2 направлениям: к значению 7 (один сигнал с именем 4-4-1n.wav) и к значению 2 (три сигнала с именами 4-4-2n.wav, 4_4idle.wav, 4_4tfc.wav). Следующее ветвление образуется на третьем разряде по направлениям 3 (4_4tfc.wav) и 7 (4-4-2n.wav, 4_4idle.wav). Последнее ветвление на 6 разряде разделяет два сигнала 4-4-2n.wav и 4_4idle.wav.

Таблица 4

Оцениваемый сигнал 4-4-2n.wav	Степень общности, C_{ij}	Относительное отклонение $\Delta_{ij} / \Delta_{\max}$	Степень схожести, P_{ij}
1-ый сравниваемый сигнал 4-4-1n.wav	0,14	0,33	0,67
2-ой сравниваемый сигнал 4_4idle.wav	0,7	0,47	0,7

В отличие от известных методов построения классификационных деревьев предлагаемый виртуальный инструмент реализует такой метод, при котором структура группы сигналов не только визуализируется, но и упорядочивается как по вертикали (по общности), так и по горизонтали (по отклонению).

Чтобы усилить информативность структуры (табл. 2), на дереве (рис. 7) показаны начальная и конечная ветви, соответствующие 2МОД и КОШИ распределениям случайных сигналов, расстояние между которыми по отклонению равно 100.

Двумерная упорядоченность дерева позволяет определить положение целой группы анализируемых сигналов. Так, например, по отклонению данные сигналы находятся ближе (в первой трети) к начальной ветви дерева, а по числу связей – к конечной.

Модель классификатора как устройства, измеряющего взаимное расположение эталонных элементов, может быть использована для количественной оценки качественного состояния объектов управления, контроля и диагностики.

3. Заключение.

Предлагаемая методология идентификационных измерений позволяет упорядочивать случайные и периодические вибросигналы тремя количественными характеристиками: позиционный код всех возможных характеристик сигналов, классификационные деревья и показателю «схожести». После проведения экспериментальных исследований с дефектными и рабочими редукторами была создана таблица в виде базы данных (БД) – идентификационной шкалы, в которой записями в полях служат количественные характеристики вибросигналов и связанные с ними качественные характеристики, в частности, имена дефектов редукторов. С применением технологий National Instruments и компьютерной техники была создана диагностическая система на основе предложенной методологии и алгоритмов идентификационных измерений вибросигналов, которая позволяет эффективно проводить оценку состояния всех редукторов АПРС-40 с распознаванием дефектов. Система внедрена и успешно используется на АО ПЗТМ в технологическом процессе по производству подъемного агрегата для ремонта нефтяных и газовых скважин АПРС-40.

Предлагаемая методология идентификационных измерений сигналов может найти применение и в других системах технической и медицинской диагностики, повышении помехоустойчивости в системах телекоммуникаций и автоматического управления технологическими процессами и объектами машиностроительного производства,

Список литературы: 1. <http://www.dynamics.ru/modules/cjaycontent/index.php>. 2. Аршанский М.М., Щербаков В.П. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1988. – 134с. 3. Васильев В.И. Распознающие системы. – Киев: Наукова Думка, 1969. – 292 с. 4. Загоруйко Н.Г.

Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 1999. – 270с. **5.** Кликушин Ю.Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов // Монография. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006 - 96с. **6.** Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: Монография. – Петропавловск, СКГУ им. М.Козыбаева, 2007. – 186с. **7.** Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Алгоритм классификации сигналов автоматизированных систем.// Сб. Тр. XIII Межд.науч. – техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк: ДонГТУ, 2006 – Т.2, С.163-167.

Сдано в редакцию 17.01.08

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ РУХІВ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ВЕРСТАТАХ НОВИХ КОМПОНОВОК

Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О.

(НТУУ "КПІ", ХНТУ, м. Київ, м. Херсон, Україна)

Based on the parallel mechanism, a new technological machine is presented in this paper. The virtual prototype modelling and the kinematic simulation parallel milling cone surface are described. The virtual prototype simulation can help in the parametric design and the structural design for the new machine tool

Однією із світових тенденцій верстатобудування є створення нових компоновок верстатів з мехатронними елементами, що об'єднують засоби механіки, електроніки та електротехніки [1, 2], тому перспективним напрямком удосконалення механізмів технологічного обладнання є їх побудова на основі:

- передачі потоку рухів і сил декількома кінематичними ланцюгами шляхом раціонального перерозподілу рухів та навантажень між ними;
- реалізації паралельної передачі енергії декількома кінематичними ланцюгами та механізмами;
- створення замкнених кінематичних ланцюгів, які відтворюють замкнений контур підвищеної жорсткості;
- побудови безконсольних конструкцій механізмів.

Отже, удосконалення, створення та проектування високоефективних механізмів може формуватись на наступних положеннях (рис.1).

Послідовне, паралельне та паралельно-послідовне з'єднання (рис. 2) і розташування механізмів в структурі технологічного обладнання у загальному енергетичному потоці від ведучої до веденої кінематичної ланки впливає майже на усі параметри функціонування технологічного обладнання: точність позиціонування, жорсткість, динамічні характеристики, коефіцієнт корисної дії (ККД) [3].

Розглянемо вплив відповідного з'єднання механізмів на коефіцієнт корисної дії механічної системи технологічного обладнання.